DESEMPEÑO TÉRMICO-ENERGÉTICO DE AULAS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIAS-UNSE-AR

Thermal-energy performance of classrooms in the Faculty of Exact Sciences and Technologies- UNSE-AR

GABRIELA GIULIANO [1], CAROLINA ALENDE [2], CARLOS CASCIO [3]

RESUMEN

Ante el reto de la carrera a limitar emisiones de dióxido de carbono hasta el año 2050, para frenar el cambio climático, las universidades como casas de altos estudios, deben pregonar con el ejemplo aplicando soluciones sustentables en su propia infraestructura. El presente trabajo analiza el comportamiento térmico- energético de edificios de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCEyT-UNSE), ubicada en el norte grande de Argentina. El objetivo es evaluar y encontrar la alternativa edilicia cuya combinación de disposición y conformación de la envolvente constructiva, resulte de mayor eficiencia energética, integrando de mejor manera estrategias activas y pasivas de acondicionamiento ambiental, adecuadas al clima de la zona. Para ello, se caracterizó el sitio de implantación del campus universitario, y las particularidades en la funcionalidad, las técnicas constructivas y las instalaciones de cada bloque. Se determinaron balances térmicos en régimen estacionario, cuasi estacionario, y dinámico. Con estos resultados se verificó el grado de cumplimiento respecto a las recomendaciones establecidas en la serie de normas IRAM 11.600 de acondicionamiento térmico y la 11.900 de etiquetado de eficiencia energética edilicia, identificando los Índices de Prestaciones Energéticas (IPE), en todos los casos analizados. Se concluye que es necesario plantear, evaluar y ajustar propuestas de acondicionamiento natural y artificial, previos a la etapa de construcción de los edificios educativos. Así es viable plantear mejoras para la optimizar del confort de la comunidad universitaria, propiciar la disminución del consumo energético, y contribuir con un desarrollo saludable y sustentable del hábitat educativo local.

Palabras Clave: infraestructura universitaria, eficiencia térmico- energética.

ABSTRACT

Faced with the challenge of the race to limit carbon dioxide emissions until the year 2050, to stop climate change, universities, as houses of higher education, must lead by example by applying sustainable solutions in their own infrastructure. The present work analyzes the thermal-energy behavior of buildings of the Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCEyT-UNSE), located in the great north of Argentina. The objective is to evaluate and find the building alternative whose combination of layout and conformation of the construction envelope results in greater energy efficiency, better integrating active and passive environmental conditioning strategies appropriate to the climate of the area. To do this, the implantation site of the university campus was characterized, and the particularities in the functionality, construction techniques and facilities of each block. Thermal balances were determined in steady, quasi-stationary, and dynamic regimes. With these results, the degree of compliance with the recommendations established in the series of IRAM 11,600 thermal conditioning standards and 11,900 building energy efficiency labeling was verified, identifying the Energy Performance Indices (EPI), in all the cases analyzed. It is concluded that it is necessary to propose, evaluate and adjust proposals for natural and artificial conditioning, prior to the construction stage of educational buildings. Thus, it is feasible to propose improvements to optimize the comfort of the university community, promote the reduction of energy consumption, and contribute to a healthy and sustainable development of the local educational habitat.

Key words*:* university infrastructure, thermal-energy efficiency.

[1] Dra. Prof. Arquitecta. Docente en Cátedras de Arquitectura y Conocimiento de Edificios. Carreras de Ing. Civil e Ing. en Agrimensura. FCEyT-UNSE-Argentina. Investigadora Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Gestora y Etiquetadora en Eficiencia Energética. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7226-8925, gm.giuliano@gmail.com

[2] Arquitecta. Docente en Cátedras de Arquitectura y Conocimiento de Edificios. Carreras de Ing. Civil e Ing. en Agrimensura. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina. Colaboradora en Proyectos de Investigación FCET-UNSE. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-4784-8278, carolina_alende@hotmail.com

[3] Prof. Ingeniero Electrónico. Docente en Cátedras de Teoría de Control I y II, de la Carrera de Ing. en Electrónica. FCEyT-UNSE -Argentina. Gestor Tecnológico en Eficiencia Energética. ORCID https://orcid.org/0009-0004-6626-0283, casciocarlos@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Existen diversas opciones viables y eficaces para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse al cambio climático provocado por el ser humano, las cuales están disponibles en la actualidad, según afirmaron los científicos en el último informe del Grupo de Expertos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). En 2018, el IPCC puso de relieve la escala sin precedentes del desafío que suponía limitar el calentamiento a 1,5 °C. Cinco años después, el desafío es aún mayor debido al aumento constante de las emisiones de gases de efecto invernadero. El ritmo y la escala de las medidas adoptadas hasta el momento, así como de los planes actuales, son insuficientes para hacer frente al cambio climático. La quema de combustibles fósiles y el uso desigual e insostenible de la energía y las tierras durante más de un siglo han provocado un calentamiento global de 1,1 °C por encima de los niveles preindustriales. Como resultado, se han producido fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes y más intensos que han generado impactos cada vez más peligrosos en la naturaleza y las personas en todas las regiones del mundo [1].

En Argentina, si bien gran parte de su territorio es una de las regiones continentales del mundo en las que se proyecta un menor calentamiento, se aprecia que la excepción es el norte del país y, principalmente, el noroeste. “En esta región se insinúa una lengua de mayor calentamiento en el futuro cercano [2]. Ante el escenario de crisis ambiental a nivel nacional, el Estado argentino en las últimas décadas, viene implementando políticas para la mitigación del impacto humano en los ecosistemas. En 2007 se crea del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), en el que se instruye, a su vez, la implementación del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía en Edificios Públicos (PROUREE), planteando a todos los organismos del Poder Ejecutivo Nacional la disposición de acciones que tengan el fin de colaborar, mediante la gestión de los recursos energéticos en sus edificios, en la reducción del consumo de energía y en la eficiencia energética [3]. El Decreto N° 31/2023 declara prioritaria la política pública nacional correspondiente al manejo y gestión sostenible de los recursos utilizados por los organismos del Sector Público Nacional (SPN) a través de las prácticas de consumo y de habitabilidad que se deberán implementar en la gestión eficiente de: la energía eléctrica; el agua; el gas; los residuos; las compras públicas; la accesibilidad; la movilidad sostenible; y los espacios verdes. En función de ello, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS), crea el programa “Edificios Públicos Sostenibles” y desarrolla 2 guías para la aplicación en edificios del Sector Público Nacional, a través del cual cada organismo deberá inscribirse, realizar una evaluación y presentar un plan de acción de buenas prácticas [4].

En este sentido, el Norte Grande Argentino, se ubica la provincia de Santiago del Estero, donde el gobierno de presenta en 2019, un plan de acción concreto para cumplir con las “Metas del Bicentenario de la Autonomía Provincial” (MBAP) [5]. Las mismas, buscando ampliar los alcances del Plan Estratégico Territorial del año 2016, y tienen como directriz los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda al año 2030, de los cuales se destacan por su relación con el presente trabajo el ODS 7 y 11 de energía asequible y no contaminantes, y ciudades y comunidades sostenibles [6]. Entre las

MBAP, se pueden mencionar dos, las cuales relación directa con los mencionados anteriormente: Meta N° 6: Ordenamiento territorial urbano y rural y la Meta N° 7: Aumentar la generación propia de energía en base a fuentes renovables. En este marco, se deben resaltar también los más recientes alcances del Plan Estratégico de Ciencia, Innovación y Tecnología (PECIT) 2023-2030, que es fruto de la colaboración interinstitucional, de los sectores públicos y privado, liderada por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Provincia, con el respaldo del Sistema Integrado de Ciencia, Innovación y Tecnología de la provincia [7].

El rol de las universidades, resulta clave para la evolución hacia sociedades de menor impacto, por lo que transitar hacia el paradigma de la sustentabilidad exige una educación ambiental que pueda reflejarse tanto en la currícula como en la conformación de las prácticas cotidianas y en los edificios en los que se desempeñan [8]. En tal sentido, la Universidad Nacional de Santiago del Estero, desde los campos de la docencia, investigación y la gestión trabajan el eje de la sustentabilidad ambiental. Es importante hacer mención de algunos antecedentes en los que la. Desde el año 2009, integra la Red Argentina de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente (RAUSA). En el año 2016, se incorpora a la Red de Universidades Argentinas por la Gestión Ambiental y la Inclusión Social (UAGAIS). En 2019, la UNSE publica su Plan Estratégico Institucional (2019-2029), el cual explicita su compromiso con el ambiente, abogando por un desarrollo sostenible [9]. Además, se crea el Programa UNSE Verde aprobado por el Consejo Superior que explicita: “es necesario que la propia universidad se convierta en un agente de cambio, transformando su propia estructura interior, logrando así un modelo coherente entre lo que pregona y las acciones que lleva a cabo. Sin embargo, el logro de tal coherencia implica atravesar un proceso complejo que requiere del compromiso de toda la comunidad universitaria. Por esto, es necesario institucionalizar un programa que guíe las estrategias y acciones a realizar, y fundamentalmente, promueva la más amplia participación de todos los estamentos” [10]. También en 2021, desde el Programa UNSE Verse se promovió la adhesión a la campaña Race to Zero de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con aprobación unánime por el Consejo Superior [11]. Esta campaña implica asumir un compromiso para que las instituciones educativas adheridas alcancen la neutralidad de carbono hacia el año 2050. Así en el año 2022 se calcula por primera vez la huella de carbono de la UNSE. Actualmente, se trabaja en la elaboración de manuales para aplicar medidas de mejora, medición, seguimiento y ajuste de indicadores de sustentabilidad ambiental. Finalmente, desde el año 2023 participa del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROUREE) en Edificios Públicos, realizando diagnósticos, para reducir los niveles de consumo, con la implementación de medidas de eficiencia energética, la introducción de criterios para la gestión de la energía y la concientización de toda la comunidad universitaria en el uso racional de los recursos.

En este contexto, este trabajo tiene como objetivo analizar aulas del campus de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE, con el fin de evaluar para el clima de la zona, en alternativas de dimensiones y orientaciones similares, y con elementos constructivos diferentes en sus envolventes, cual combinación resulta más adecuada en su comportamiento térmico- energético.

II. METODOLOGÍA

En la presente investigación se ha realizado una combinación metodológica y en la misma pueden diferenciarse 3 etapas. La primera es de carácter descriptiva, donde se caracteriza la geolocalización y el clima donde se implantan los edificios universitarios, además se analiza la funcionalidad y materialidad de cada caso de estudio, donde se toman aulas representativas de cada bloque edilicio. Se determinan las estrategias y se seleccionan pautas de diseño bioclimático adecuadas a la zona bioambiental ubicación, en relación a la implantación en el terreno y su relación con las orientaciones favorables y desfavorables. En una segunda etapa, se utiliza la metodología experimental con la valoración de balances térmicos en régimen dinámico, a través de simulaciones térmicas edilicias. En una tercera instancia, se completa la evaluación del comportamiento térmico-energético de los edificios académicos, por balances térmico en régimen estacionario en referencia a la serie de normas IRAM 11.600 a través del software TRANS-Q-E [12] y en régimen semi-estacionario, según norma IRAM 11.900 de cálculo de Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) y del nivel de eficiencia energética edilicia (EEE), a través del aplicativo de etiquetado nacional [13].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III-1. Situación geográfica y climática

El anexo de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, se ubica en sede Parque Industrial "La Isla" en el Departamento Banda. En la Figura 1, se puede observar que en el campus asienta un conjunto de edificios, formado de cinco bloques exentos, que se corresponden cada cual, a las diferentes carreras de Ingeniería: Bloque 1: Ing. Civil- Vial- Hidráulica, Bloque 2: Ing. Electromecánica, Bloque 3: Ing. Mecánica, Bloque 4: Ing. Electrónica y Bloque 5: Ing. Industrial, decanato, auditorio, aulas y laboratorios varios. Es te último edificio se encuentra en sin terminar.

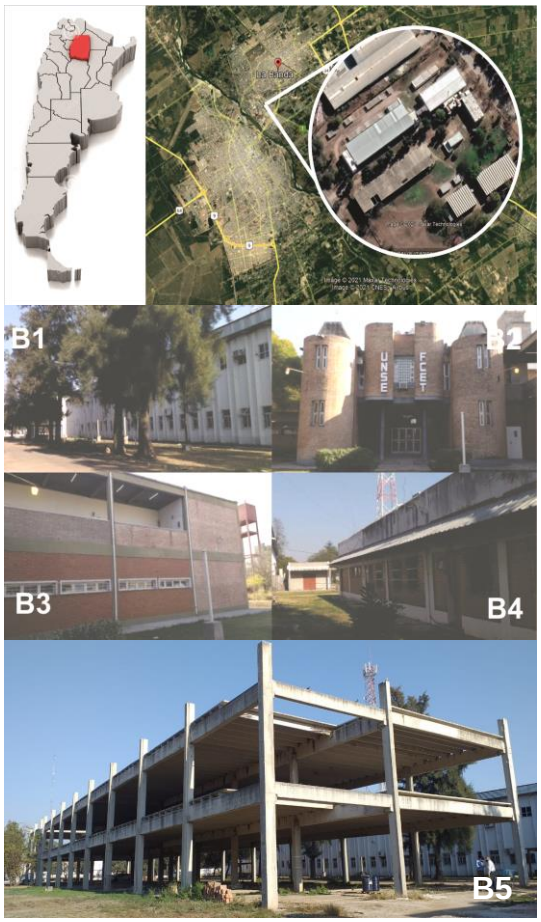


Fig. 1: Ubicación de la Sede Parque Industrial y Fotografía de los cuatro bloques de Ingenieras. Fuente: Google Earth y elaboración propia.

El clima de la localidad, se clasifica como BSh “semiárido cálido” [14]. El mismo, se caracteriza por un período estival muy cálido, con altas temperaturas y lluvias moderadas a escasas, presentándose mayormente entre los meses de octubre a marzo (promedio anual de 600 mm). El período invernal es

poco significativo, por presentar temperaturas medias mayores que 15 °C. En cambio, en las estaciones de primavera y verano e inclusive hasta en otoño, se presentan valores de temperatura máxima mayores que 45 °C y valores medios mayores que 26 °C, con amplitudes térmicas de hasta 15 °C, por lo tanto, este periodo de tiempo resulta de mayor extensión y se considera el más desfavorable. La Norma IRAM 11.603 [15] establece que el área de estudio pertenece a Zona Bioambiental I- Muy Cálida y subzona a, con amplitudes térmicas mayores a 14°C (Fig. 2), según clasificación bioambiental de la República Argentina. El Anexo C de la norma referida, sugiere para la zona Muy Cálida recomendaciones generales de diseño y construcción: colores claros en paredes y techos, gran aislación térmica en envolvente, el eje mayor orientado al Este-Oeste, controlar asoleamiento en las orientaciones favorables Norte-NE-NO, minimizar superficie o si es posible no orientar aberturas al E y al O, aprovechar los vientos dominantes y para aumenten la circulación de aire y favorecer ventilación cruzada. Según los climogramas o diagramas psicométricos de Givoni [16], y Olgyay [17], las estrategias de diseño bioclimático para la zona, se corresponden con la calefacción solar pasiva para invierno, y el enfriamiento directo e indirecto para verano, por ventilación natural, y evitando ganancias térmicas con incorporación de masa y aislación térmica. Sin embargo, como la estación cálida es considera crítica, por las altas temperaturas, es necesario complementar con estrategia activa de asistencia con sistemas termo-mecánicos para el refrescamiento

III.2. Caracterización arquitectónica

La disposición arquitectónica en general del conjunto de edificios y de cada volumen en particular es adecuada, ya que en la mayoría de los bloques el eje mayor del volumen es Este-Oeste, por lo tanto, cuenta con mayor superficie de paramentos expuestos al Norte y Sur. La excepción es el volumen del bloque 3, el de Ing. Mecánica, ya que es el único que recibe la mayor exposición hacia el Este y el Oeste. El bloque 1 (B1), correspondiente a Ing. Civil- Vial-Hidráulica cuenta con dos plantas. La planta baja posee un sector en doble altura de 1600 m^2 y un sector de 768 m^2 destinado a aulas, laboratorios y administración. En el primer piso, de 874 m^2 se distribuyen cuatro aulas, laboratorios y boxes para docentes. La superficie cubierta total es de 2516 m^2. El cerramiento vertical se define por tabiques de hormigón pre moldeado, denominado en adelante Muro 1 (M1), y el techo es del mismo material, con placas pretensadas del tipo "ypsilon", y con un sobretecho incorporado en los últimos años, resuelto por una estructura y cubierta metálica, designada Techo 1 (T1). El edificio de Ing. Electromecánica (B2), con 1822 m2, y el de Ing. Mecánica (B3), con 636 m2 cubiertos, tienen la misma tecnología constructiva en sus muros, resueltos en mampostería de ladrillo cerámico de 0,30 m de espesor a la vista (M2), mientras que difieren en la resolución de los techos, donde el bloque 2 es del tipo másico y tiene las placas pretensadas “ypsilon” (T2), y el bloque 3 es liviano, con estructura y cubierta metálica (T3). Por último, el bloque 4 (B4), de Ing. Electrónica, cuya superficie cubierta es de 161 m2, cuenta solo con planta baja, que se divide en cuatro sectores destinados a las siguientes actividades: laboratorio, aula, tres boxes docentes y sala de reunión. La envolvente se ejecutó con método constructivo tradicional de mampostería de ladrillo cerámico macizo de 0,30 m de espesor y con terminación a la vista (M2), mientras que el techo es de losa de H°A° (T4). Las

ventanas son metálicas y vidrio común y las puertas de madera.

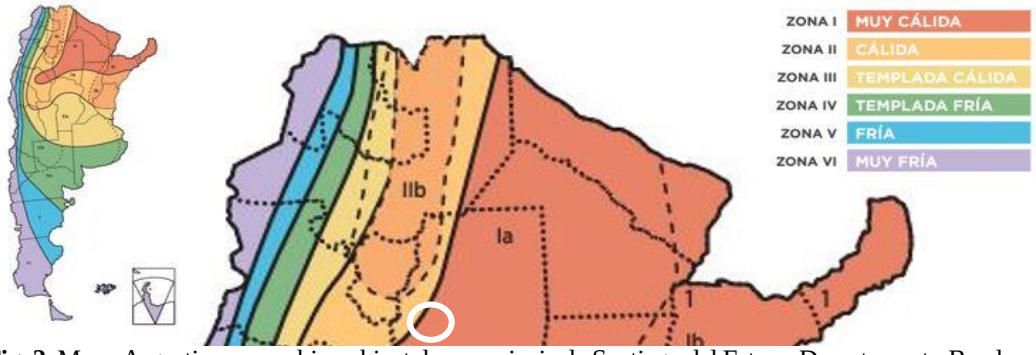
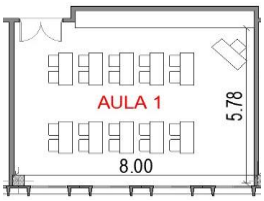
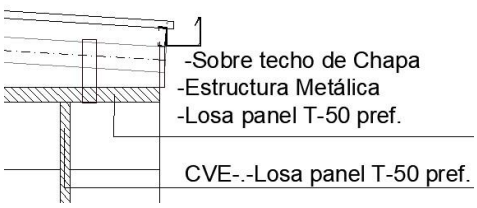
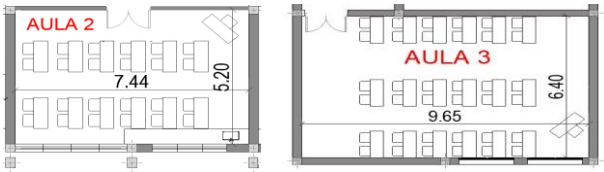
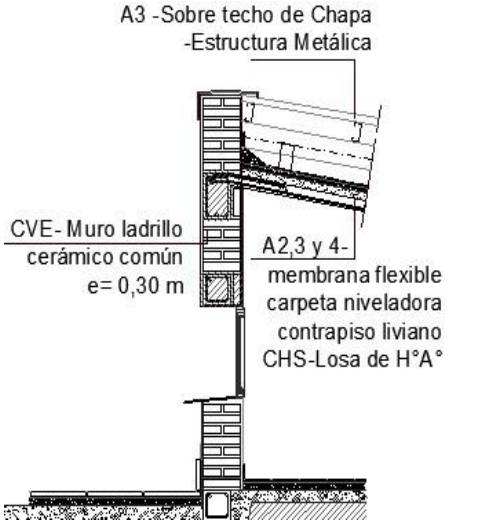
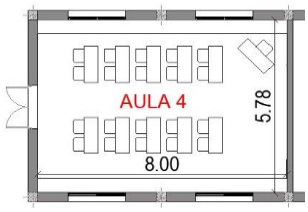
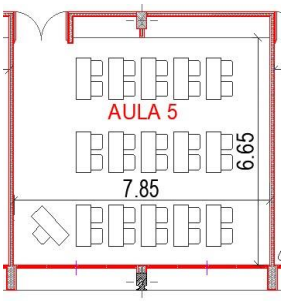


Fig. 2. Mapa Argentina, zonas bioambientales, provincia de Santiago del Estero, Departamento Banda. Fuente: Norma 11.603 (IRAM, 2012), ICPA (2020) y elaboración propia del equipo.

Tabla 1. Información de materialidad y planos de aulas de cada bloque (Orientación Norte)

PLANTAS DE ARQUITECTURA Y DATOS	DETALLES CONSTRUCTIVOS
 **BLOQUE 1** **H A1:** 2,70 m **Sup. A1:** 46,4 m^2 **Vol. A1:** 125,3 m^3	
 **BLOQUES 2 Y 3 - H A2 y A3:** 2,70m **Sup. A2:** 38,7 m^2 **Sup. A3:** 61,6 m^2 **Vol. A2:** 104,6 m^3 **Vol. A3:** 166,6 m^3	
 **BLOQUE 4** **H A4:** 2,70 m **Sup. A4:** 46,4 m^2 **Vol. A4:** 125,3 m^3	
 **BLOQUE 5** **H A5:** 2,70 m **Sup. A5:** 52,2 m^2 **Vol. A5:** 140,9 m^3	

Por último el bloque 5 (B5) se encuentra aún en construcción (Ver Fig. 1 y Tabla 1, donde la planimetría se representa en color rojo por ser proyecto). Hasta la actualidad, se ha ejecutado solo la estructura H° A° premoldeado: bases, columnas y losas. En la próxima etapa de prevé lograr el cerramiento vertical exterior de 0,15 m de espesor, con paneles de núcleo de poliestireno expandido (EPS) y mallas de acero de alta resistencia, vinculadas mediante conectores del mismo material, y como terminación una capa de revoque cementicio proyectado en el interior y exterior. El techo quedará constituido por la losa de H°A° premoldeado, capa de contrapiso alivianado con perlitas de EPS, carpeta de nivelación y tejuela cerámica. En Tabla 1 se ilustran las plantas de arquitectura y los detalles de cerramientos, de cada una de las que se toman como caso de estudio, aulas 1, 2, 3, 4 y 5 pertenecientes a cada bloque edilicio: B1, B2, B3, B4 y B5.

III.3. Modelos de Balance Térmico (BT)

Un edificio es un sistema complejo y dinámico, ya que en él operan variables que se modifican todo el tiempo. Para examinar su comportamiento térmico, y poder así determinar las demandas de calefacción y/o de enfriamiento, se debe hacer un balance entre las pérdidas y ganancias de calor para el período de invierno y verano respectivamente. Las variables exógenas que inciden en el intercambio del flujo térmico de un inmueble son la temperatura del ambiente exterior, la potencia de radiación solar en un plano determinado, y la velocidad de viento, las cuales varían con el tiempo. A su vez, el efecto de estas variaciones sobre el espacio interior del inmueble no tamaño del edificio, la estructura y los es inmediato, sino que existe un retardo temporal entre la causa y el efecto. Por ello, el intercambio de energía entre un inmueble y el ambiente exterior, se considera un sistema dinámico. Para elaborar un balance térmico en un edificio, se distinguen tres modelos: los que utilizan procedimientos de cálculo estacionarios, los estacionarios con corrección dinámica y los basados en metodologías de cálculo dinámico. Las principales diferencias entre los distintos métodos son: el intervalo de tiempo considerado, la forma diferente de gestionar las instalaciones del edificio, y la diversidad de cada uno de ellos para calcular el flujo de calor. Los primeros suponen soluciones simplificadas, en las que se pierde mucha información, mientras que los cálculos dinámicos implican soluciones complejas de implementar, de las cuales se puede obtener información muy precisa; la aplicación de un modelo u otro, debe ser acorde al resultado que se busque obtener considerando las ventajas y desventajas de cada cual [18].

III.3.1.BT en Régimen Dinámico

Se genera el modelo geométrico de los casos en el programa SIMEDIF 2.0 [19], para su simulación en régimen transitorio. Esta es una herramienta de de balance térmico, que utiliza datos climáticos, donde la variable temporal es horaria. Permite calcular la temperatura horaria del aire dentro de los espacios de un edificio, la temperatura superficial horaria de las paredes y la energía auxiliar de calentamiento/enfriamiento que se necesita para mantener los espacios a una temperatura determinada por un termostato que puede definirse hora por hora para el año completo. El software permite cargar datos

geométricos, constructivos y de condiciones climáticas de la zona, y con ello calcular y analizar el comportamiento del edificio en diferentes condiciones climáticas, detectar problemas de confort térmico, evaluar posibles alternativas en el diseño de un edificio, tales como variaciones en su geometría, orientación, ubicación y materiales de la envolvente, la adición de sistemas pasivos, etc. En edificios existentes, el software puede utilizarse para validar el modelo de construcción a través de datos medidos o para cuantificar la eficacia de las posibles alternativas de rediseño en el caso de trabajar en rehabilitación energética.

A tal fin, se realiza una simulación por cada bloque edilicio, donde en cada cual se delimitaron las zonas isotérmicas necesarias. En el caso de las aulas de bloques B1, B2, B3, B4 y B5, se tomaron como locales isotérmicos independientes, y en relación con el resto de las zonas isotérmicas identificadas de cada edificio. Para apreciar las similitudes y diferencias, se presentan a continuación la evolución de las temperaturas interiores de los locales mencionados en forma comparativa, en respuesta a temperaturas exteriores características de períodos de solsticios de invierno y verano. Si bien las simulaciones se calcularon para 15 días continuos en período de ocupación regular, en las figuras 3 y 4 se muestran la gráfica de los resultados que más interesan para el presente análisis, donde se realiza un recorte de 7 días corridos o 168 horas, para una mejor lectura de las curvas. Para el caso de invierno, se considera el período entre el 24 de junio y al 1 de julio, y para verano los días comprendidos entre el 14 y el 21 de diciembre. cada periodo fue seleccionado por presentar las temperaturas exteriores extremas, es decir las más bajas y altas respectivamente.

En figura 3, se puede visualizar los registros de temperaturas exteriores de invierno fueron de 2 °C mínima, 10 °C la media y 22 °C la máxima. Las temperaturas promedio interiores simuladas en las distintas aulas fueron para el B1: máx. de 18ºC, med. de 14°C y mín. de 10ºC; en B2: una máx. de 20ºC, med. de 17°C y mín. de 13ºC; en B3: máx. de 18ºC, med. de 15,5°C y mín. de 13ºC; en B4: máx. de 20ºC, med. de 18,5°C y mín. de 17ºC; y en B5 máx. de 21ºC, med. de 18,5°C y mín. de 16ºC. Se observa correlación, entre los aumentos de Ti, en correspondencia con los de $T_{e,}$ al tratarse de las horas de mayor incidencia solar. La fluctuación térmica interior (ΔTi) promedio diario fue conservada en todas las aulas, siendo la menor de 2°C las del B4 y B5, de 2,5°C para B2 y B3 y la mayor de 5° C en B1. Considerando el rango de confort higrotérmico interior recomendado entre 18 y 22°C para invierno por Givoni [16], se observa como en condiciones de temperaturas exteriores bajas, solo alcanzan el nivel de confort las aulas de B4 y B5.

En la figura 4, se muestra la simulación de temperaturas exteriores características del inicio del período estival fueron de 15 °C mínima, 24 °C la media y 39 °C la máxima. Las temperaturas promedio interiores simuladas para las aulas, fueron para: B1: máx. de 37ºC, med. de 31°C y mín. de 25ºC; en B2: una máx. de 38ºC, med. de 34°C y mín. de 30ºC; en B3: máx. de 39ºC, med. de 35°C y mín. de 31ºC; en B4: máx. de 36ºC, med. de 33°C y mín. de 30ºC; y en B5: máx. de 34ºC, med. de 38°C y mín. de 22ºC. Con respecto a la alternancia térmica interior (ΔTi) promedio diario fue conservada en todas las aulas, siendo la menor de 2°C las del B5, y el 10°C para la mayor B1. Tomando de referencia el rango de confort higrotérmico interior para verano, de acuerdo con Olgyay [17], está

comprendido entre 20 y 28°C, se visualiza como con la condición de las temperaturas exteriores más altas, nuevamente solo alcanza el nivel de confort el aula del B5. Hasta aquí, en primer término, con el primer diagnóstico de situación, a través de la herramienta de evaluación por simulación térmica, se infiere que en las construcciones existentes la sensación los usuarios excede el rango de confort durante año académico, resultando con mejor comportamiento térmico de las aulas y diferentes locales del bloque 5, aun fuera de uso, ya falta etapa de obra gruesa de cerramientos y obra fina de terminaciones.

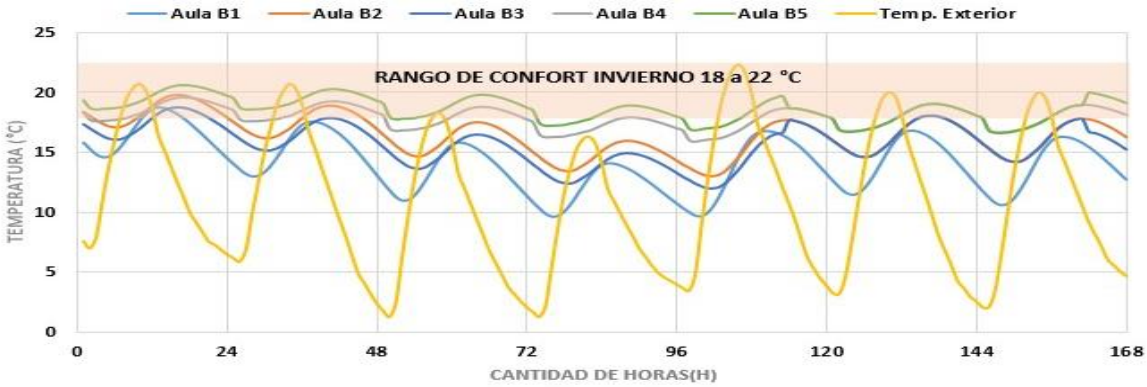


Fig. 3. Gráfica de comparación de temperaturas exteriores e interiores en aulas para período de invierno

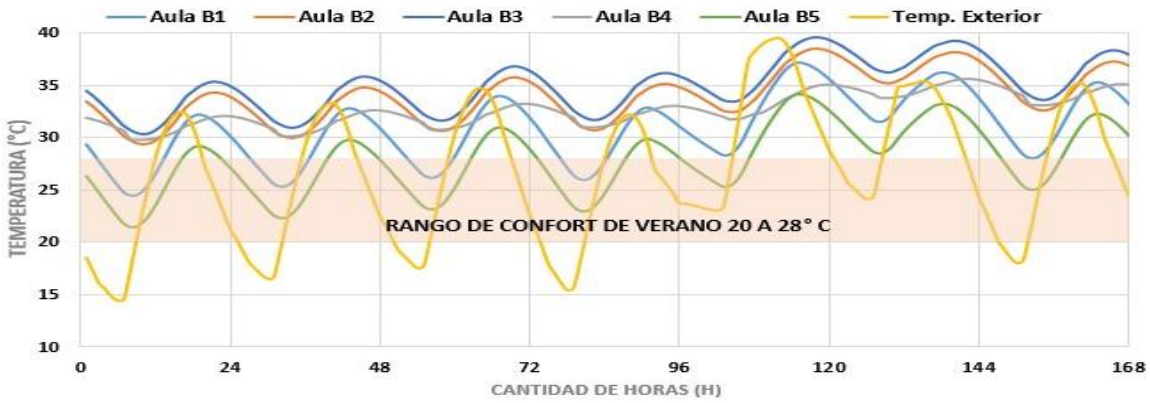


Fig. 4. Gráfica de comparación de temperaturas exteriores e interiores en aulas para período de verano

III.3.2. BT en Régimen Estacionario

El BT, en modelo estacionario considera que, para un período de tiempo dado, todas las variables permanecen constantes e iguales en sus valores medios y los flujos de calor no dependen del tiempo. En estos modelos, la potencia térmica en la entrada del sistema es igual a la potencia térmica en la salida y no hay ninguna variación de la energía térmica interna. No consideran los efectos de la capacidad térmica. Son modelos simplificados en los cuales se pierde mucha información. El modelo numérico, que podemos definir simplificado,

contempla, por lo tanto, la transferencia de energía entre el edificio y el entorno externo en condiciones fijas. En otras palabras, las modalidades de uso del edificio como ocupación, cargas internas, etc., y las condiciones climáticas como temperaturas y condiciones atmosféricas, que se mantienen constantes dentro del intervalo de tiempo de la simulación. Por lo tanto, el cálculo energético se efectúa como un simple balance térmico, entre las condiciones internas y externas del edificio.

A continuación, se presenta la evaluación térmico-energética que permiten analizar comparativamente, los valores de cálculo de las aulas analizadas, con los admisibles de la serie de Norma IRAM 11.600. Para su elaboración, se utilizó el programa calculador TRAN-Q-E [12]. Las Tabla II y III, contienen valores de transmitancia térmica de cálculo ($K_{CAL)}$ de verano e invierno respectivamente, de los cerramientos verticales y horizontal superior que constituyen la envolvente las cinco aulas, de cada bloque de edificios de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Estos valores se contrastan en forma comparativa con los admisibles de la zona bioambiental, según procedimiento de cálculo de Norma 11.605 [20], para la condición de verano y de invierno. Estos los valores máximos admisibles ($K_{MAX\ ADM)}$ de confort higrotérmico utilizados de referencia, determinan los límites de niveles de confort higrotérmico, A: óptimo, A/B: intermedio, B: medio y C: mínimo, según de norma 11.900 [21].

En condición verano e invierno, valores de $K_{CAL\text{-}MUROS}$ que constituyen las aulas de los distintos bloques de las carreras de Ingeniería resultaron ser los mismos resultados: Para las Aulas de B1 0,39 W/m^2. K, para B2, B3 y B4 1,78 W/m^2. K, y para B5 0,42 W/m^2. K. Con lo cual, ninguna de las 4 aulas existentes, alcanzan a verificar el nivel C- mínimo de confort higrotérmico para verano e invierno. En cambio, el aula del Bloque 5, si verifica el nivel A de óptimo de confort higrotérmico para verano y nivel A/B- intermedio para invierno. Esto se deduce del sistema constructivo de paneles de alma de EPS, con el que prevé cerrar la estructura existente, por ser un elemento constructivo de alta aislación térmica, ya que su valor de conductividad es mínimo.

Los techos por ser opuesta la dirección del flujo de calor en verano descendente (por ganancia de calor desde el exterior al interior) y en invierno ascendente (representando pérdidas de calor desde el interior al exterior); entonces los valores resultantes de $K_{CAL\text{-}TECHOS}$ son diferentes en las diferentes estaciones. Los mismos para las aulas desde el B1 al B4 rondan entre 2 y 3 W/m^2. K. Esto implica que no alcancen a verificar nuevamente el nivel mínimo C de confort higrotérmico, de referencia con respecto a los admisibles $K_{MAX\ ADM}$ de verano e invierno. En este caso, la excepción es únicamente el aula del Bloque 5, donde el elemento constructivo de techo que se planea ejecutar, del tipo másico con doble aislación térmica en cubierta y cielorraso suspendido, en orden de disposición, espesores y tipos de materiales, resulta una combinación excelente en su desempeño higrotérmico, calificando en nivel A- óptimo para las condiciones de verano e invierno.

Tabla II: Cálculo y Verificación de Transmitancia Térmica condición de verano, para techos y muros, según Normas IRAM 11.605 [20] y 11.900 [21].

U/ K [W/m² K]	Casos	K_{CAL} [W/m² K]	Nivel A $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel A/B $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel B $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel C $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Verifica IRAM 11.900
K- verano, Zona Bio-Ambiental I – Muy Cálida, subzona a, con amplitudes térmicas mayores a 14°C	Techo Aula B1	2,10	0,18	0,31	0,45	0,72	NO- Nivel C
	Muros Aula B1	**2,39**	0,45	0,78	1,10	1,80	**NO- Nivel C**
	Techo Aula B2	2,58	0,18	0,31	0,45	0,72	NO- Nivel C
	Muros Aula B2	**1,78**	0,45	0,78	1,10	1,80	**SI- Nivel C**
	Techo Aula B3	3,76	0,18	0,31	0,45	0,72	NO- Nivel C
	Muros Aula B3	**1,78**	0,45	0,78	1,10	1,80	**SI- Nivel C**
	Techo Aula B4	2,24	0,18	0,31	0,45	0,72	NO- Nivel C
	Muros Aula B4	**1,78**	0,45	0,78	1,10	1,80	**SI- Nivel C**
	Techo Aula B5	0,04	0,18	0,31	0,45	0,72	SI- Nivel A
	Muros Aula B5	**0,42**	0,45	0,78	1,10	1,80	**SI- Nivel A**

Tabla III: Cálculo y Verificación de Transmitancia Térmica condición de invierno, para techos y muros, según Normas IRAM 11.605 [20] y 11.900 [21].

U/ K [W/m² K]	Casos	K_{CAL} [W/m² K]	Nivel A $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel A/B $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel B $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Nivel C $K_{MAX\ ADM}$ [W/m² K]	Verifica IRAM 11.900
K- invierno, Zona Bio-Ambiental I – Muy Cálida, subzona a, con amplitudes térmicas diarias, mayores a 14°C	Techo Aula B1	2,50	0,27	0,48	0,69	1,00	NO- Nivel C
	Muros Aula B1	**2,39**	**0,31**	**0,57**	**0,83**	**1,45**	**NO- Nivel C**
	Techo Aula B2	2,98	0,27	0,48	0,69	1,00	NO- Nivel C
	Muros Aula B2	**1,78**	**0,31**	**0,57**	**0,83**	**1,45**	**NO- Nivel C**
	Techo Aula B3	4,16	0,27	0,48	0,69	1,00	NO- Nivel C
	Muros Aula B3	**1,78**	**0,31**	**0,57**	**0,83**	**1,45**	**NO- Nivel C**
	Techo Aula B4	2,64	0,27	0,48	0,69	1,00	NO- Nivel C
	Muros Aula B4	**1,78**	**0,31**	**0,57**	**0,83**	**1,45**	**NO- Nivel C**
	Techo Aula B5	0,44	0,27	0,48	0,69	1,00	SI- Nivel A
	Muros Aula B5	**0,42**	**0,31**	**0,57**	**0,83**	**1,45**	**SI- Nivel A/B**

III.3.3. BT en Régimen Cuasi estacionario

Los modelos semi o cuasi estacionarios (o también denominados estacionarios con correcciones dinámicas), son modelos estacionarios, que mediante ajustes globales logran compensar y corregir el comportamiento dinámico del sistema. Consideran los efectos de la capacidad térmica de los materiales para el ajuste. Al igual que los anteriores, son modelos simplificados. Aquí, el intervalo de tiempo considerado coincide con un solo mes, a diferencia del régimen estacionario, donde el período de tiempo coincide con la temporada de calefacción o con la temporada de refrescamiento. Un modelo de este tipo se utiliza para calcular el Índice de Prestaciones Energéticas IPE (kWh/m^2año), energía primaria consumida en verano e invierno, sobre la base de tres hipótesis de cálculo: que cada mes tiene días iguales y cada día posee temperatura e irradiancia solar constante igual a la media del mes considerado; que los parámetros son concentrados, por lo que la temperatura interna es representada como un punto; y que los flujos de intercambio de calor son unidireccionales.

Básicamente, en los modelos estacionarios y cuasi estacionarios, se calcula la energía térmica media transferida a través de la envolvente en función de las condiciones de contorno (estacional o mensual), y de los aportes promedio. Luego, el consumo de energía (electricidad, gas natural, etc.), también se calcula en régimen estacionario o semi estacionario sobre la base de lo antes expuesto, utilizando los respectivos factores de correlación que consideran el tipo de instalación y su eficiencia.

Seguidamente, en este trabajo se determina el desempeño térmico-energético de las cinco aulas en régimen mensual, a través del software de cálculo a través del aplicativo de etiquetado nacional [13].

Para generar la etiqueta de eficiencia energética, el programa define un valor prestaciones energéticas (según IRAM 11.900 [22]., cuyo modelo térmico es semi estacionario de base mensual; así, cada mes se considera con todos sus días iguales, con una temperatura constante asumida como la media del mes, y lo mismo se hace para la radiación solar. El IPE constituye un valor característico del inmueble, expresado en kWh/m2año, y representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso. [23].

El resultado para el bloque 1 es de 359 kWh/m2año, correspondiente a la escala “G-rojo” de menor eficiencia energética en la etiqueta de Eficiencia Energética. Los bloques 2, 3 y 4 también califican en el menor escalafón de clase de eficiencia energética, donde los valores de Índice de Prestaciones Energéticas fueron de 274, 316 y 232 kWh/m2año. La figura 5, ilustra el resultado obtenido según las calificaciones de niveles de EEE y el valor del IPE, para las aulas de los bloques 1 a 5, consecutivamente. En el caso del etiquetado del último bloque, el valor de IPE disminuye a 37 kWh/m2año, con lo cual el nivel de EEE asciende a “clase B-verde”. Donde el IPE es mínimo, debido al tipo de envolvente planteada para el edificio en construcción. Además, se ha proyectado el aprovechamiento de energía renovables a partir de la introducción de tecnologías como paneles fotovoltaicos para generar electricidad y colectores solares para agua caliente sanitaria.

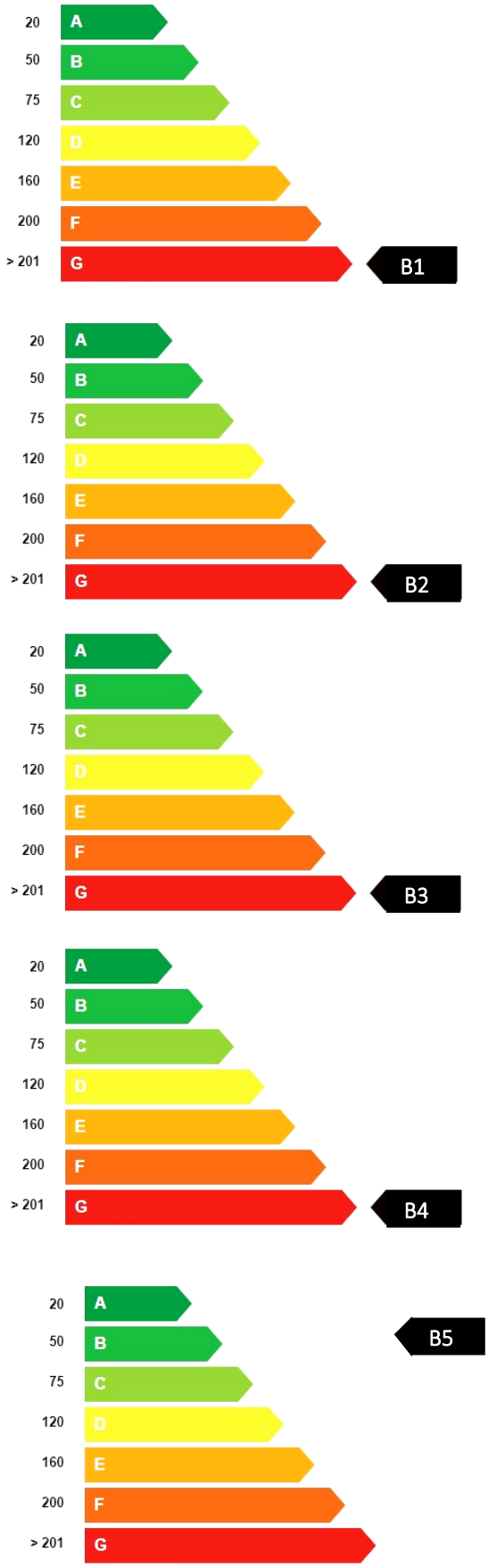


Fig. 5. Etiquetas de Eficiencia Energética Edilicia en función del IPE correspondientes a cada Bloque.

IV. CONCLUSIÓN

El diagnóstico energético de los edificios de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de UNSE, se realizó a través de tres modelos balances térmicos. En régimen dinámico las aulas de los bloques construidos se comportaron de forma deficiente, con respecto a los rangos de confort de invierno y verano. Los locales quedan excluidos en la mayor parte de las horas simuladas, ya que las temperaturas del aire interior en las aulas 1 a 5, superan los valores máximos recomendados, y con ello se presume que la comunidad educativa, carece de sensación de confort en esos espacios. En cambio, en el aula del bloque 5, que tuvo un desempeño aceptable en ambas estaciones, se deduce que una vez construido, y en uso por alumnos y docentes podrían alcanzar el bienestar higrotérmico.

La valoración en régimen estacionario fue efectuada también para verano e invierno. Aquí se tuvo en cuenta la transmitancia térmica de la envolvente constructiva. En correspondencia con el primer cálculo efectuado, al determinar los niveles de confort higrotérmico, las aulas de los bloques existentes no obtuvieron el nivel mínimo-c. En tal sentido, a través de este procedimiento se ha logrado identificar que los elementos constructivos planteados en proyecto como cerramiento para el bloque 5, son los más adecuados, ya que se comportan mejor ante pérdidas y ganancias de calor, por su propiedad de aislación térmica. Esto permitirá colaborar en el uso racional o bien ahorro del consumo de energía convencional o no renovable para calefacción en invierno y refrigeración en verano. Por último, el balante térmico en estado cuasi estacionario, por la superposición de los resultados, permitió corroborar la concordancia con los anteriores mencionados. En este último caso, los valores de IPE y con ello los

niveles de eficiencia energética calculados fueron coincidentes con evaluaciones anteriores. Por lo tanto, la contribución del presente trabajo, es demostrar la importancia y las ventajas en el diseño, evaluación y ajustes de edificios educativos universitarios; para cumplir con las normativas y estándares mínimos, previos a la etapa de construcción. Así se favorecerá al propósito de optimizar condiciones del proceso de enseñanza- aprendizaje, el confort, y la salubridad; contribuyendo al desarrollo sustentable local de la comunidad educativa universitaria.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]. IPCC, 2023: Comunicado de prensa del IPCC. La acción climática urgente puede garantizar un futuro habitable para todos 2023/06/PR https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_es.pdf

[2]. Barros, V., & Camilloni, I. (2016). *La Argentina y el cambio climático. De la física a la política* EUDEBA (ed.).

[3]. Gobierno Nacional de Argentina (2007) Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía Poder Ejecutivo Nacional a través del Decreto Nº 140, del 21 de diciembre de 2007. https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-140-2007-125447

[4]. Gobierno Nacional de Argentina (2023) Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Programa Edificios Públicos Sostenibles. Decreto Nº 32, del 20 de enero de 2023. https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/280026/20230123

[5]. Gobierno Provincial de Santiago del Estero (2019). Informe Final ODS Presentación Metas del Bicentenario de la Autonomía Provincia Año 2019. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_gestion_2019_santiago_del_estero.pdf

[6]. ONU (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Agenda 2030 https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

[7]. Secretaria de Ciencia y Tecnología de Santiago del Estero (2023). Plan Estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación. https://drive.google.com/file/d/1GNCIcj9W2tovcCB2kKeCwWUcqoMqqHEq/view?usp=drivesdk

[8] Giuliano G, Ortega M., Garzón G. (2020) Diagnostico Energético en la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. Revista Anales de la *Arquitectura.* | Vol. 12 No. 2 julio - diciembre 2022. ISSN 2301-1505 Imp., ISSN 2301-1513 On-line. DOI: *https://doi.org/10.18861/ania.2022.12.2*

[9]. Consejo Superior UNSE (2019). Creación Plan Estratégico UNSE Verde (2019-2029). https://www.unse.edu.ar/index.php/plan

[10]. Consejo Superior UNSE (2019). Creación del Programa UNSE Verde aprobado por Resolución C.S. 204/2019.

[11]. Consejo Superior de UNSE (2021) Adhesión a la campaña Race to Zero de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Res. CS 293/21).

[12]. Garzón B.; Mendonca C. (2012) TRANS-Q-E Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos

energéticos, según Normas IRAM 11601:2002, 11605:1996; 11604:2001, 11659.

[13]. Secretaria de Energía de la Nación (2019). Aplicativo informático nacional. Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas. Gobierno de la República Argentina. Recuperado de https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/

[14]. Köppen, W., & Geiger, R. (1936). Handbuch der Klimatologie. In Verlag von Gebruder Borntraeger.

[15]. Norma IRAM Nº 11603 (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

[16]. Givoni B, A. (1969) Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822.

[17]. Olgyay V. (1963) Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Reeditado en Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España, 1998. ISBN: 84-252-1488-2.

[18]. Flores Larsen S. (2019). Simedif 2.0. Programa calculador térmico de edificios. Versión Junio 2019. INENCO-CONICET.

[19]. Ortega M., Giuliano G., & Garzón B. (2021). Modelos de balance térmico para la evaluación de una vivienda social de adobe. *PENSUM*, *7*(7), 100–117.https://doi.org/10.59047/2469.0724.v7.n7.33943

[20]. Norma IRAM Nº 11605 (2002). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

[21]. IRAM 11.900 (2019) modificación Nº1 a la Norma IRAM 11900:2017-12. Prestaciones energéticas de viviendas. Métodos de cálculos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

[22]. IRAM 11.900 (2017) Prestaciones energéticas de viviendas. Métodos de cálculos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

[23]. Instituto de Energía y Desarrollo Comisión Nacional de Energía Atómica Sustentable (IEADS) https://www.argentina.gob.ar/cnea/ieds/eficiencia-energetica/indice-de-prestaciones-energeticas-para-certificacion-de-inmuebles