

Aporte metodológico al cálculo de la influencia del cambio climático en las estrategias pasivas de edificios

Gustavo J. Barea Paci¹, Carolina Ganem Karlem¹

¹Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Mendoza, Argentina
gbarea@mendoza-conicet.gob.ar – cganem@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen

Se presenta una metodología que permite la cuantificación del cambio relativo en la efectividad de las estrategias de diseño pasivas, calculadas para el clima actual, respecto a las proyecciones de clima futuro del IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). Se trabaja con el escenario RCP8.5 del CMIP5, equivalente a un escenario SSP85 del CMIP6. Para el caso de Mendoza (Argentina), las temperaturas medias anuales podrían incrementarse en 5°C para el 2100, con aumentos de 7°C en las medias mensuales de verano y de 4.4°C en las medias mensuales de invierno. Los resultados muestran una disminución del 20% en la cantidad de horas en confort con un incremento del 24% en la necesidad de estrategias pasivas de verano.

Introducción y Objetivo

A lo largo de los últimos años se han acumulado evidencias del C.C. (Cambio Climático) y de sus impactos sobre distintos sectores socioeconómicos y sistemas naturales en todas las regiones del planeta.

Las proyecciones futuras del clima indican que, aunque los esfuerzos mundiales para reducir las emisiones resulten eficaces, los efectos del cambio climático se harán sentir durante décadas.

Diversos fenómenos extremos asociados a las condiciones climáticas, como olas de calor, sequías, lluvias torrenciales o incendios, que causan serios impactos sociales y ambientales aumentarán su frecuencia y su intensidad.

Por esta razón, la adaptación al cambio climático es una estrategia necesaria a todas las escalas (territorio, ciudad, edificio). Prioritaria para complementar los esfuerzos de reducción de las emisiones que lo provocan y reducir su impacto creciente sobre la economía y la sociedad.

Según la Agencia Internacional de Energía, la intensidad energética por metro cuadrado del sector de la construcción debería reducirse en un 30% hacia el 2030, para cumplir los objetivos climáticos del acuerdo de París. (UN, 2016)

Esto requerirá casi duplicar el rendimiento energético actual de los edificios y significa que los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB) necesitan convertirse en el standard global en la próxima década. Al mismo tiempo, surge una clara necesidad de invertir en la renovación energética de los edificios existentes.

Tomando en consideración que la tasa de renovación anual edilicia se encuentra en el orden del 2% en promedio para la Unión Europea, siendo del orden del 0,2% anual en países como España (El País, 2020); los edificios existentes serán los responsables de gran cantidad de emisiones polucionantes en nuestras ciudades.

Consecuentemente, la identificación y aplicación de metodologías para disminuir las demandas de energía de los edificios es fundamental dados los desafíos energéticos globales, así como las consecuencias inminentes del cambio climático.

Elias (2017); Brager & de Dear (1998) han sugerido que para diseñar los edificios y optimizar su confort térmico en los próximos años sin cargar el ecosistema con una mayor degradación ambiental, se deben conocer las predicciones sobre las condiciones climáticas futuras en diferentes ciudades. De este modo, se puede anticipar cualquier cambio y contrarrestar sus efectos mediante la eficiencia energética, un mejor diseño y, en última instancia, el ahorro de energía (Li, et al, 2012).

En Argentina, el Centro de Investigaciones Marinas y Atmosféricas (CIMA) elaboró un informe sobre las tendencias climáticas (segunda mitad del siglo XX) y una proyección del clima futuro (siglo XXI) como parte de los estudios de referencia para la tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (3CN Cima, 2022). El estudio se centra en las tendencias observadas y proyectadas de la temperatura y las precipitaciones en superficie y en algunos de los índices extremos que pueden causar impactos relevantes.

Los escenarios climáticos del siglo XXI se calcularon para dos horizontes temporales diferentes: el clima futuro cercano (2015-2039), de interés para las políticas de adaptación, y el clima futuro lejano (2075-2099), para informar el escenario a largo plazo. Los periodos exactos se eligieron en función de los resultados de los modelos de circulación global (MCG) y los modelos climáticos regionales (MCR) disponibles. Los escenarios climáticos se desarrollaron para dos RCPs (Representative Concentration Pathway), 4,5 y 8,5 (coincidentes con los escenarios SSP2-4.5 Y SSP5-8.5 del CMIP6, ver figura 2). Se trata de un escenario de crecimiento medio (RCP 4,5) y el caso extremo (RCP 8,5) en el que las emisiones seguirán creciendo según las tendencias actuales hasta el final del siglo.

Ante esta situación, y considerando que la matriz energética de Argentina está basada en un 90% en combustibles fósiles y que el parque edilicio representa el 40% del consumo energético nacional, es fundamental reconocer que los edificios juegan un papel crítico en un futuro bajo en emisiones y como tal su integración con el desarrollo sostenible representa un desafío global (Flores Larsen et al., 2019; Flores Larsen & Filippín, 2021; Barea 2022).

En función de lo expresado, el objetivo principal del estudio es realizar un aporte metodológico al cálculo de la influencia del cambio climático en las estrategias pasivas de edificios que posibilite la cuantificación del cambio relativo en la efectividad de las medidas de diseño (pasivas) analizadas, con respecto al uso general de energía para calefacción y refrigeración en edificios naturalmente ventilados y protegidos de la radiación solar.

Esto permitirá identificar qué medidas de diseño ganarán o perderán importancia debido al calentamiento climático y la correlación entre la eficacia de los sistemas pasivos analizados.

Los resultados del análisis serán directamente aplicables a los diseñadores de edificios, ya que se clasificarán las medidas de diseño que ganarán o perderán importancia debido al calentamiento climático y la magnitud relativa a este cambio. Así también, este trabajo intenta aportar al desarrollo de metodologías para la elaboración de archivos de cambio climático para la simulación dinámica de edificios.

Metodología

En una primera instancia, se analizó el potencial bioclimático de un clima templado continental de la Argentina (Mendoza, latitud sur -33° 9', longitud oeste 69° 15'), mediante la herramienta BcChart (M. Kosir, et al 2018).

El análisis del potencial bioclimático correlaciona las características climáticas esenciales, como la temperatura del aire, la humedad relativa y la radiación solar, con la capacidad de lograr el confort de los ocupantes del edificio a través de los sistemas solares pasivos de edificios. Este estudio permite representar a través del potencial pasivo, la adaptación climática de los edificios para el clima estudiado. Los cálculos se basan en la teoría de gráficos bioclimáticos de Olgay, utilizando la temperatura del aire, la humedad relativa (RH) y la radiación solar global. La zona de confort se define entre 21 y 27 °C y entre 20 y 80 % RH.

Las combinaciones de las variables climáticas definen si se pueden usar ciertas soluciones pasivas para lograr el confort térmico, o si se necesitan sistemas activos (refrigeración mecánica, calefacción convencional) (M. Kosir, et al 2017). El programa utiliza archivos climáticos EPW, del tipo TMYx, que se obtuvieron de <https://climate.onebuilding.org/>, para la localidad estudiada.

En la Fig. 1 se presentan las definiciones de cada potencial bioclimático determinado por BcChart. La figura también ilustra la relación entre las medidas de diseño pasivo analizadas y el potencial bioclimático del lugar.

La relación entre el potencial bioclimático y las medidas de diseño pasivo analizadas, está indicado siempre que se pueda utilizar una determinada medida de diseño para facilitar una mejor respuesta térmica pasiva de un edificio y, en consecuencia, una mayor eficiencia energética.

Posteriormente se analiza como el potencial bioclimático del clima estudiado para el presente se modificará a hacia el año 2100. Para ello se utilizaron datos de escenario climáticos futuros del IPCC. El Quinto Informe de Evaluación del IPCC ha definido cuatro nuevos escenarios de emisiones; las denominadas Vías de Concentración Representativas (RCP), que tienen en cuenta los efectos de las políticas del siglo XX en la mitigación del cambio climático, a diferencia de los escenarios del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), 2007 (AR4), denominados SRES, que no tenían en cuenta los efectos de las políticas viables o los acuerdos internacionales en la mitigación de las emisiones. Los cuatro RCP no sólo abarcan una amplia gama de escenarios futuros de calentamiento global, sino que también cuantifican las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y el forzamiento radiativo (energía adicional absorbida por el sistema terrestre) debido al aumento de la contaminación por el cambio climático.

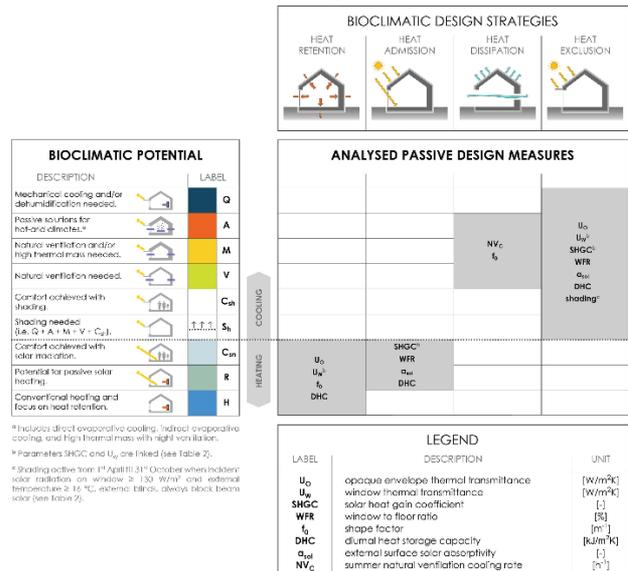


Figure 1: Medidas de potencial bioclimático calculadas por BcChart y medidas de diseño pasivo analizadas correspondientes (M. Kosir, et al 2017; Košir 2019)

El forzamiento radiativo (FR) total previsto para el año 2100 oscila entre 2,6 y 8,5 W/m². Los cuatro RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos de mitigación conducen a un nivel muy bajo de forzamiento (RCP 2,6), dos escenarios de estabilización (RCP 4,5 y RCP 6,0) y un escenario (RCP 8,5) con un nivel muy alto de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero). Es importante señalar que, hasta mediados del siglo XXI, las

diferencias en los resultados entre los RCP son muy pequeñas, debido a que el sistema climático responde con relativa lentitud a los cambios en la concentración de GEI. Por ello, se ha tomado el escenario RCP 8.5 para los análisis posteriores, ya que proporciona un calentamiento mucho más rápido y cambios más pronunciados en indicadores importantes como el caudal de los ríos, la temperatura y las precipitaciones.

El sexto informe de evaluación del IPCC (AR6), se ha alimentado con el desarrollado de un nuevo conjunto de escenarios, SSP, a través del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 6 (CMIP6) del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP), que actualiza los RCP del CMIP5. Los nuevos escenarios representan diferentes desarrollos socioeconómicos, así como diferentes vías de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

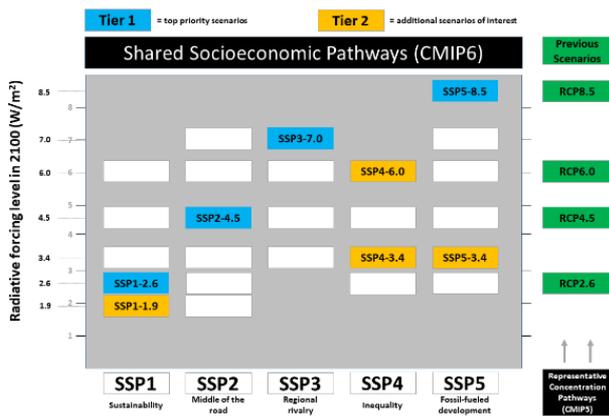


Figura 2: Vías socioeconómicas compartidas y combinaciones de forzamiento radiativo del año 2100 utilizadas en ScenariMIP (O'Neill et al., 2016)

La Figura 2 muestra una matriz que representa todas las combinaciones posibles de SSP y forzamiento radiativo (RCP), codificadas por colores para mostrar la prioridad de cada escenario. Los escenarios de nivel 1, o prioridad máxima, son SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (color azul). Tres de los cuatro escenarios de Nivel 1 son versiones actualizadas de escenarios RCP de CMIP5 anteriores (RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5) para facilitar la comparación entre las proyecciones de CMIP5 y CMIP6. Los escenarios de nivel 2 son SSP1-1.9, SSP4-6.0, SSP4-3.4 y SSP5-3.4 (color naranja). Todas las demás combinaciones de forzamiento radiativo y SSP no son viables o no están designadas como una prioridad por ScenariMIP (O'Neill et al., 2016).

Como se observa en la figura 2, el escenario RCP8.5 del CMIP5 utilizado en este trabajo, equivale a un escenario SSP85 del CMIP6, con una prioridad 1.

La metodología utilizada para generar los datos futuros horarios se conoce como morphing (Jenstch et al., 2008), un método que utiliza tanto un archivo meteorológico en

tiempo real como predicciones de datos medios mensuales futuros de la variable de interés.

Mediante transformaciones matemáticas de "desplazamiento" y "estiramiento" basadas en las medias mensuales presentes y futuras de las variables, un archivo meteorológico en tiempo presente se transforma en un archivo meteorológico futuro. La naturaleza de las transformaciones garantiza que la relación entre las variables meteorológicas se mantenga en el archivo meteorológico futuro. En este artículo, los datos horarios de tiempo presente fueron los del Año Meteorológico Típico (TMYx) basados en las medias del periodo 2007-2021.

Para las predicciones futuras, se ajustó el modelo ACCESS 1-3 RCP8.5¹, r1i1p1 (con una grilla de 1.875 por 1.25 grados), con datos observacionales de reanálisis CRU TS4.05 para corroborar la bondad de predicción en el área de estudio. Se tomaron datos desde 1901 hasta 2021. Para la cuantificación de la concordancia entre los datos de reanálisis y el modelo futuro, se utilizaron los siguientes indicadores estadísticos ampliamente utilizados: d, MAE, RMSE y BIAS, calculados (Tabla 1) utilizando las siguientes ecuaciones:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - sim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|sim_i - obs_i| + |obs_i - obs_i|)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |sim_i - obs_i| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (sim_i - obs_i)^2} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (sim_i - obs_i) \quad (4)$$

Donde:

- d = Concordancia o índice de Willmott
- MAE = Error medio absoluto
- RMSE = Error cuadrático medio.
- BIAS = Error medio
- sim_i = Datos del modelo futuro
- obs_i = Datos de reanálisis medidos
- obs = Datos medios de reanálisis medidos
- n = Tamaño de la muestra

Luego se analizaron anomalías por períodos de 50 años, hasta el 2100 y se armaron los EPW futuros. Los datos se descargaron del sitio Climate Explorer del KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut).

Discusión y Análisis de Resultados

Los resultados del estudio se presentan en dos secciones. La primera parte presenta el análisis bioclimático de la localidad estudiada (Mendoza) con el clima actual, TMY. Posteriormente se muestra la influencia del CC en las estrategias bioclimáticas.

¹ KNMI Climate Explorer and CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia).

Potencial Bioclimático con Clima Actual

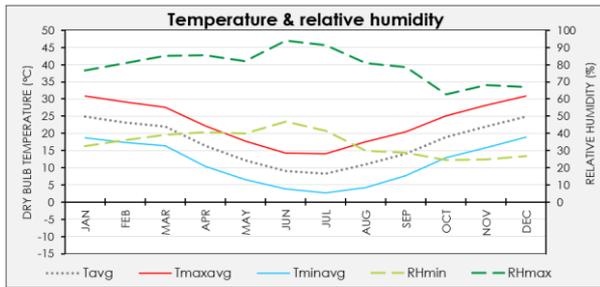


Figura 4: Temperaturas y Humedad relativas de Mendoza
Mendoza tiene un clima desértico frío templado continental con importantes variaciones diarias y anuales. Según la clasificación de Koeppen (Kottek et al, 2006), es un clima Bwk. La figura 4 muestra las temperaturas máxima, mínima y media mensual; y la humedad relativa mínima y máxima mensual.

La temperatura media anual es de 17.22°C, mientras que para enero la temperatura media mensual es de 24.80°C. En invierno la temperatura media mensual es de 8.29°C.

Los HDD anuales (Heating degree-days, base 18.3) son de 1231 HDD, mientras que los CDD (Cooling degree-days, base 18.3), son de 911 CDD, ver figura 5. Esto nos indica la necesidad mensual de calefacción y refrigeración (Climate Design Data 2013 ASHRAE Handbook).

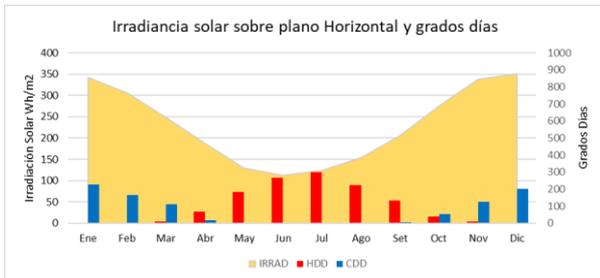


Figura 5: Grados días mensuales de calefacción y refrigeración, en función de la irradiancia solar

El potencial bioclimático puede ser un punto de partida práctico para la definición de estrategias de diseño edilicias apropiadas al clima. En las figuras 6, 7 y 8 se muestran las posibles soluciones bioclimáticas con los datos climáticos actuales. En la figura 6, grafica de Olgay modificada se muestran los datos mensuales sobre las estrategias pasivas. Los autores de la herramienta, agregan a los parámetros propuestos por Olgay (Olgay, 1963), la influencia de la irradiancia solar diaria media y máxima recibida, lo que modifica la gráfica original (Kosir et al 2017).

La mayor parte de los datos se encuentran sobre la estrategia de calefacción solar pasiva, y en un porcentaje menor, en los meses intermedios y de verano, ventilación natural combinado masa térmica interior.

Los resultados en la figura 7 y 8, muestran claramente los porcentajes de dichas estrategias que se podrían aplicar para el clima estudiado. En la figura 7, se divide en dos grupos: Necesidades de Sombra, Sh, y necesidades de sol,

Sn. Las estrategias para disipar el calor, Sh, tiene un potencial de 33.6% (8.1% de ventilación natural con masa térmica, y un 25.5% por el uso de sombras). Mientras que las estrategias para la recolección de radiación solar, Sn, tienen un potencial del 66.4% (46.6% por calefacción solar pasiva, 9.3% por calefacción auxiliar y un 10.5% en confort por el uso de radiación solar directa).

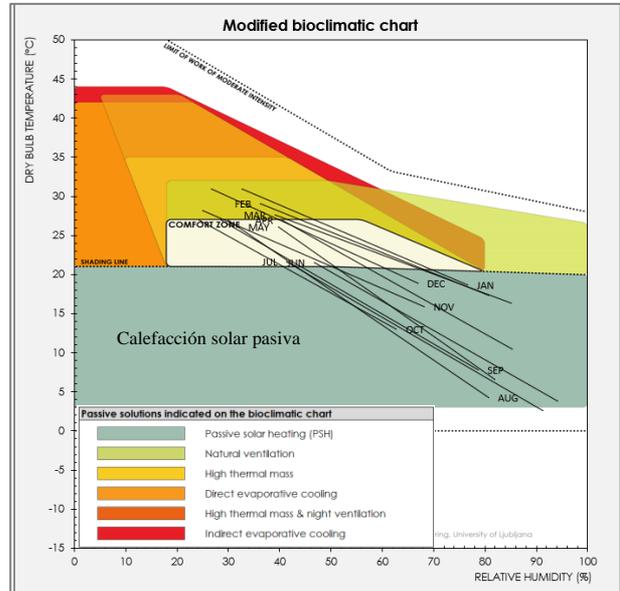


Figura 6: Gráfica de Givoni modificada por Kosir, et al 2017

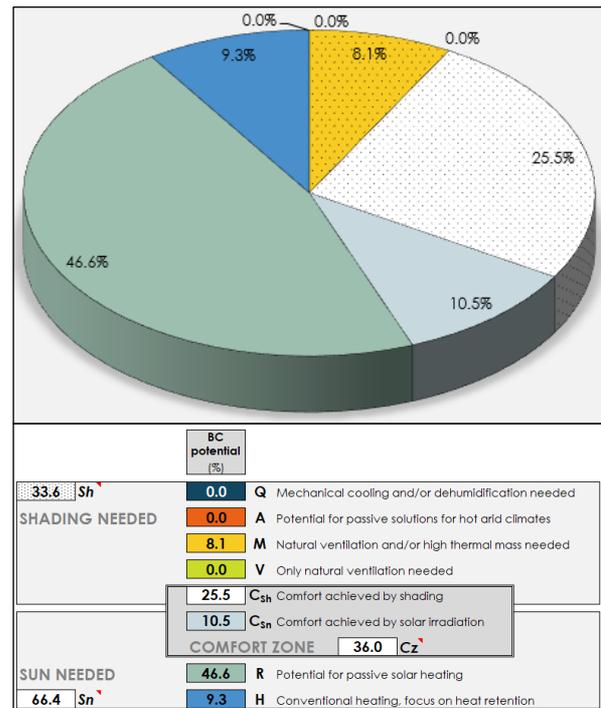


Figura 7: Potencial bioclimático TMY

Influencia del CC en las estrategias

Para el armado de los archivos EPW futuros, se eligió un modelo del CMIP5 (CC ACCESS 1-3), y se ajustó con datos medidos de reanálisis (CRU TS4.05). El período analizado fue desde 1901 hasta 2020. En la figura 8 se muestran el ajuste de las temperaturas medias anuales de ambos modelos.

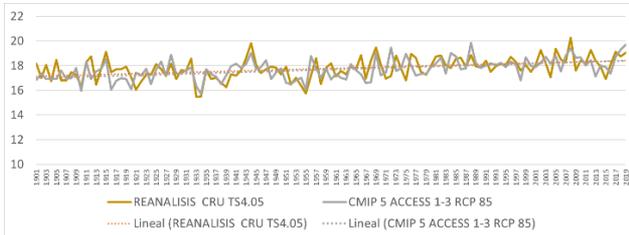


Figura 8: Comparación de temperaturas medias anuales desde 1901 hasta 2020 de: CRU TS4.05 y el modelo de simulación climática ACCESS 1-3.

Los resultados de los indicadores estadísticos, indican errores aceptables. El BIAS o el sesgo entre los datos, resulta de 0.099 °C. El error medio absoluto, MAE, descartando los valores atípicos, resulta de 0.68°C en promedio. Cuando se analiza el coeficiente de concordancia, d, resulta del 72%. Y la desviación estándar de los valores residuales, RMSE, es de 0.88°C, ver tabla 1.

Tabla 1: Indicadores estadísticos del ajuste entre los datos de reanálisis CRU TS4.05 y el modelo ACCESS 1-3 para el escenario RCP8.5

INDICADORES	CRU TS4.05 vs ACCESS 1-3 RCP8.5
d	0.72
MAE (°C)	0.68
RMSE (°C)	0.88
BIAS (°C)	0.099

En la figura 9, se muestran las temperaturas medias anuales del modelo calibrado, desde 1900 hasta el 2100, para el escenario RCP 8.5, para el clima estudiado.

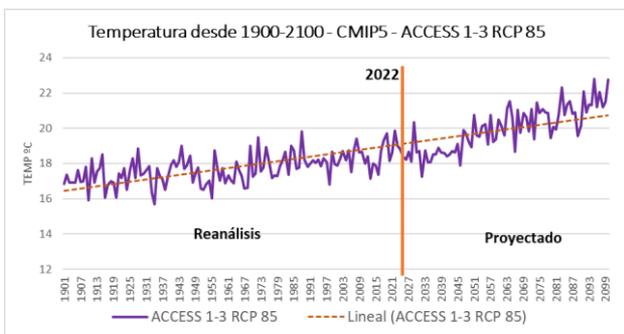


Figura 9: Temperaturas medias anuales, RCP8.5

En la figura 10, se recortan los datos predichos a futuro, 2022-2100, y se observa la tendencia del aumento de temperatura hacia el 2100.

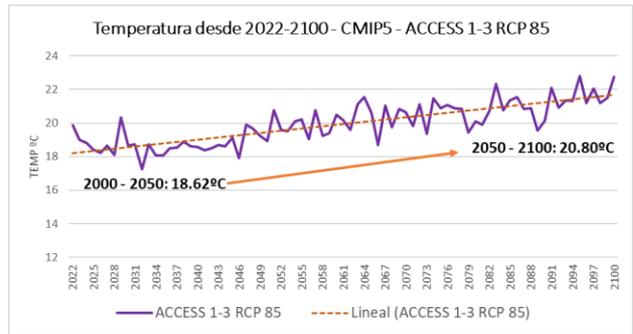


Figura 10: Temperaturas medias para el escenario RCP8.5, período futuro, 2022-2100

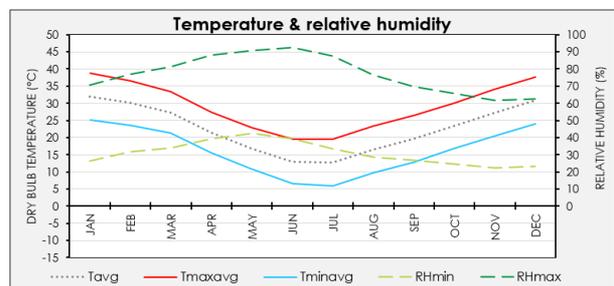
Si comparamos las anomalías en períodos de 50 años desde el 1900, la temperatura hacia el año 2100 podría aumentar en el orden de los 2.18°C, en relación al período pre-industrial para el clima estudiado, ver tabla 2.

Tabla 2: Comparación de los cambios observados en períodos de 50 años.

	ACCESS 1-3	Diferencia al período base 1900-1950
1900-1950	17.37	
1950-2000	17.77	0.40
2000-2050	18.62	0.85
2050-2100	20.80	2.18

Con el modelo ACCESS1-3 ajustado, se utilizaron los datos para armar el EPW, y simular en BcChart, el efecto proyectado del cambio climático en el potencial bioclimático para Mendoza.

La temperatura media anual para el 2100 se espera que sea de 22.50°C (5°C más que el TMY actual), mientras que para enero la temperatura media mensual sea de 31.88°C (7°C mayor que el actual). En julio se espera que



la temperatura media mensual supere a la actual en 4.4°C (12.7°C).

Figura 11: Temperaturas y Humedad relativas, año 2100

Los resultados de las siguientes figuras, muestran claramente que se espera que el potencial bioclimático se desplace hacia las estrategias de disipación de calor. Las estrategias de invierno disminuirán gradualmente, ver figura12.

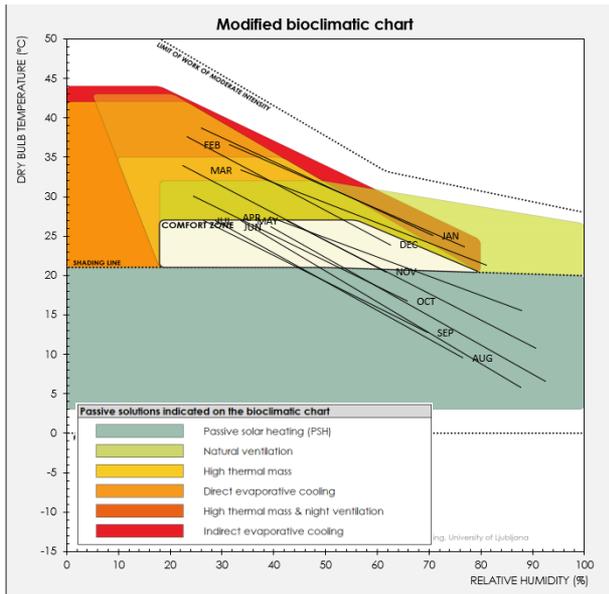


Figura 12: Temperaturas y Humedad relativas, año 2100

Si observamos la figura 13, las necesidades de Sombra, Sh , se calculan en un 57.6%, o sea 24% más que el clima actual. Dentro de este porcentaje hubo un aumento considerable (de 0% a 12.6%) en la estrategia A, que se refiere a un conjunto de soluciones pasivas para climas áridos y cálidos, incluye: Refrigeración evaporativa directa e indirecta y uso de masa térmica con ventilación natural. La zona de confort por el uso de sombras, descendió de 25.5% a 19.9%.

Si observamos cómo se comportan las estrategias invierno, Sn , se prevé una disminución de potencial de 66.4% a 42.4%, por ello disminuirán todas las estrategias inherentes a la recolección de radiación solar y calor térmico. El potencial de calefacción pasiva pasará de un 46.6% a 30.1% y la calefacción auxiliar de un 10.5% a un 4%.

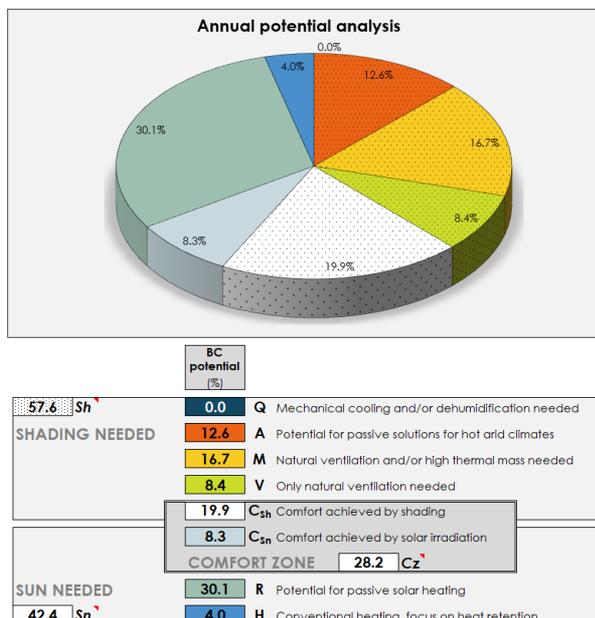


Figura 13: Potencial bioclimático futuro, año 2100

Conclusiones

El trabajo realiza un aporte al desarrollo metodológico en la elaboración de archivos de clima futuro de acuerdo con proyecciones de cambio climático (IPCC) para la simulación dinámica de edificios. Para el armado de los archivos EPW futuros, se elige un modelo del CMIP5 (en este caso CC ACCESS 1-3), y se ajusta con datos medidos de reanálisis (CRU TS4.05).

La simulación dinámica de edificios con archivos climáticos de elaboración propia, ajustados y validados tanto para la situación actual como futura, es una herramienta indispensable para valorar decisiones de diseño desde una mirada holística garantizando el buen funcionamiento de nuestros edificios a lo largo de su vida útil. La transferencia de los resultados obtenidos a los diseñadores de edificios hace posible conocer qué estrategias pasivas ganarán o perderán importancia debido al calentamiento climático y la magnitud relativa a este cambio.

Para el caso de aplicación que se presenta en Mendoza (Argentina) en el escenario RCP8.5 del CMIP5, (equivalente a un escenario SSP85 del CMIP6), las temperaturas medias anuales podrían incrementarse en 5°C para el 2100, con aumentos de 7°C en las medias mensuales de verano y de 4.4°C en las medias mensuales de invierno. Los resultados muestran una disminución del 20% en la cantidad de horas en confort con un incremento del 24% en la necesidad de estrategias pasivas de verano.

Limitaciones de este estudio

Los resultados de este estudio se realizaron con el modelo CC ACCESS 1-3, previamente calibrado con datos medidos, ya que el objetivo es aportar metodológicamente al armado de archivos hacia el CC. No obstante, los resultados son extrapolables a otros modelos y escenarios del IPCC.

Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado por el FONCYT PICT 2019-2752 y CONICET PIP 2021-2023 11220200101711CO.

El método morphing se aplicó a través de un código Python desarrollado por la Dra. Silvana Flores Larsen (INENCO-CONICET). Los archivos resultantes se transformaron al formato EPW a través de la aplicación WeatherConverter de EnergyPlus.

Referencias

- D.H.W. Li, L. Yang, J.C. Lam. 2012. Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones – a review. Energy 42, pp. 103 – 112.
- El País. 2020. Una apuesta por la renovación urbana. Sección Economía. www.elpais.es.
- Flores-Larsen S., Filippín C., Barea G. 2019. Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. Energy and Building. Vol 184. Pp 216-229. ISSN 0378-7788. Amsterdam.
- Flores-Larsen, Celina Filippín. 2021. Energy efficiency, thermal resilience, and health during extreme heat events in low-income housing in Argentina. Energy and Buildings 231.

- G.S. Brager, R.J. de Dear. 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Building*. 27, pp. 83–96, doi: 10.1016/S0378-7788(97)00053-4.
- Gustavo Barea, M. Victoria Mercado, Celina Filippín, Juan Manuel Monteoliva, Ayelén Villalba, 2022. New paradigms in bioclimatic design toward climatic change in arid environments, *Energy and Buildings*, Volume 266, 112100, ISSN 0378-7788.
- Jentsch M.F., A.S. Bahaj, P.B. James, (2008). Climate change future proofing of buildings -Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Building*, vol. 40 (12), pp. 2148-2168.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3): p.259-263.
- M. Košir, L. Pajek, BcChart v2.0 – A Tool for Bioclimatic Potential Evaluation, in: Proc. SWC2017SHC2017, International Solar Energy Society, Abu Dhabi, 2017: pp. 1–10. 10.18086/swc.2017.21.04.
- M. Košir, L. Pajek, BcChart v2.1. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, (2018). <http://kske.fgg.uni-lj.si/en/research/>.
- M. Košir. Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change. Springer International Publishing Cham (2019). 10.1007/978-3-030-18456-8.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-C., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.
- S.E. Elias, Climate change and energy. 2017. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, *Encyclopedia of the Anthropocene*, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10515-9.
- UN. 2016. Secretaría General de las Naciones Unidas. Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- 3CN Cima. Base de Datos Climáticos para la 3° Comunicación Nacional (2022). Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera (CIMA UBA/CONICET). Disponible en: <http://3cn.cima.fcn.uba.ar/>