

Predicción del comportamiento térmico y energético de un proyecto de bodega. Resiliencia y adaptación al cambio climático.

Prediction of the thermal and energetic behavior of a winery project. Resilience and adaptation to climate change.

Autor 01: Carolina Ganem

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, CONICET, CCT Mendoza, Argentina.

Dirección: Av. Ruiz Leal s/n, CP 5500, Mendoza, Argentina.

Correo: cganem@mendoza-conicet.gob.ar

Autor 02: Gustavo Barea

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, CONICET, CCT Mendoza, Argentina.

Dirección: Av. Ruiz Leal s/n, CP 5500, Mendoza, Argentina.

Correo:

Manuscript Code: 003

Date of Acceptance/Reception: 06.07.2018/31.05.2018

Resumen

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de I&D financiado por la SECTYP-UNCUYO: USO RACIONAL DE LA ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA y presenta el análisis térmico y energético de un proyecto de bodega en el Valle de Uco, Provincia de Mendoza (33° 34' 57,4" LS; 69° 02' 47,8" LO y 1.025 msnm) en la situación actual y en 3 escenarios tentativos (2020-2050-2080). Si bien se trata de un valle frío intermontano (GD base 18 = 1963 / GD base 20 = 2466) se asume que las condiciones climáticas serán más calurosas en el año 2080 debido al cambio climático. Para llevar adelante el trabajo se realizó un modelo en Energy Plus de la propuesta arquitectónica con las condiciones climáticas actuales, y a futuro de acuerdo con el escenario A2 del IPCC. Las condiciones meteorológicas se adoptaron mediante uno de los GCM (modelo matemático predictivo) del IPCC. Mediante Climate Change World Weather File Generator (CCWorldWeatherGen), desarrollado por Sustainable Energy Research Group (Universidad de Southampton), se generan los archivos EPW. De acuerdo con el proyecto inicial, el consumo actual se estimó en 35,70 kWh/m² (135.374,40 kWh año), y al efectuarse las mejoras propuestas en la envolvente el consumo se redujo a la mitad, a 18,28 kWh/m² (69.317,76 kWh año). Con estos resultados se evalúan los consumos futuros en los tres escenarios mencionados. El edificio con mejoras resulta ser resiliente y se adapta al cambio climático manteniendo los consumos energéticos de refrigeración a lo largo de su vida útil, a diferencia del proyecto inicial en el que los consumos energéticos de refrigeración llegan a triplicarse para el año 2080.

Palabras claves: simulación térmica y energética, resiliencia, cambio climático.

Abstract

The present work is part of the R & D project financed by the SECTYP-UNCUYO: RATIONAL USE OF ENERGY AND SUSTAINABILITY IN THE WINE INDUSTRY and presents the energy analysis of a winery project in the Uco Valley, Province of Mendoza (SL 33° 34'57,4 "LS; WL 69° 02'47,8" and 1,025 masl) in the current situation and in 3 tentative scenarios (2020-2050-2080). Although it is a cold intermontane valley (GD base 18 = 1963 / GD base 20 = 2466) it is assumed that climatic conditions will be warmer in the year 2080 due to climate change. To carry out the work, a model of the architectural proposal with the current and future climatic conditions according with IPCC scenario A2, was made in Energy Plus. The meteorological conditions were adopted from a GCM (predictive mathematical model) of the IPCC. By using the Climate Change World Weather Generator (CCWorldWeatherGen), developed by the Sustainable Energy Research Group (University of Southampton), EPW files were developed. According to the initial project, a consumption of 35,70 kWh/m²(135.374,40 kWh year) was estimated, and with the proposed envelope improvements the consumption was reduced to 18,28 kWh/m² (69.317,76 kWh year). With these results, future consumptions are evaluated in the three mentioned scenarios. The building with improvements is resilient and adapts to climate change while maintaining the same energy consumption throughout its useful life, unlike the initial project in which energy consumption triplicates by the year 2080.

Keywords:thermic and energetic simulation, resilience, climate change.

Introducción

El medio industrial es uno de los sistemas más intensivos que ha creado la humanidad. Consume proporciones sustanciales de los recursos naturales para su construcción y funcionamiento, y también participa en una buena medida en los desechos que se depositan en la biosfera. La industria debería ser concebida como una gestión de los recursos energéticos y materiales, como parte de los flujos e intercambios continuos de energía y materiales dentro de la biosfera. Nadie podría negar que los seres humanos nos hemos convertido en una fuerza ambiental considerable en los últimos 10.000 años. Con la llegada de la agricultura hace 8.000 años, comenzamos a cambiar la faz de la tierra, y con la revolución industrial comenzamos a afectar la atmósfera. (Boyle Torrey, 2004). Los edificios consumen el 40% de la energía global, el 25% del agua global y el 40% de los recursos globales; y emiten el 33% del total de emisiones de efecto invernadero. (Unión Europea, 2010) (United Nations Energy Programme, 2011). En síntesis, los edificios no se

comportan adecuadamente en términos de comportamiento térmico y consumos energéticos asociados. (Scofield, 2012). La predicción del comportamiento térmico y energético de los edificios en las etapas de proyecto posibilita el diseño de una mejor respuesta al clima del lugar previo a su construcción, evitando consumos de energía en la etapa de funcionamiento y operación de los edificios que impactarán durante muchas décadas, incluso un siglo, sobre la economía y sobre el medioambiente. Por estos motivos es clave trabajar con la orientación, la forma y la materialidad del edificio en etapas de proyecto, tomando en consideración el clima del lugar presente y futuro. De esta forma se asegurará la construcción de un edificio resiliente al cambio climático. En este trabajo se realiza el análisis a partir de un proyecto de bodega en el Valle de Uco, Provincia de Mendoza.

La Provincia de Mendoza está situada en la diagonal árida de América del Sur se caracteriza por el dominio que imprime la Cordillera de los Andes: cordillera, precordillera, valles intermontanos, bolsones y llanos conforman el paisaje local. La cota de 1.000 m.s.n.m. divide el territorio en dos mitades en sentido Norte-Sur: zonas montañosas y pedemontes al Oeste y planicies por el Este. Este desequilibrio territorial es el causante de la mayoría de los problemas ambientales, manifestados por agudos procesos de concentración de la población y de las actividades productivas en porciones escasas del territorio: los "oasis" irrigados, dejando casi deshabitado el resto del territorio. La ciudad de Mendoza presenta, entre otros severos problemas, una isla de calor que alcanza los 10°C (valores comparables con ciudades como Tokio con una densidad edilicia muy superior a Mendoza) (Correa, E. 2006) y graves problemas de contaminación del aire causados principalmente por el parque automotor (fuentes móviles) que representan el 70% de las emisiones y el 30% restante provienen de las industrias (fuentes fijas) (Puliafito, E. 2005). Estas condiciones afectan directamente al oasis productivo, que ve por un lado reducida su extensión por el crecimiento urbano de baja densidad y no-planificado; y por el otro lado comprometidas sus características ambientales esenciales para la producción vitivinícola debido a los cambios que están ocurriendo en el microclima derivados de las emisiones polucionantes provenientes de fuentes fijas y móviles. La producción de vino es la industria regional más importante ya que corresponde a una economía emergente, y, por lo tanto, su consumo de energía se multiplica cada año. Del año 2000 al 2009, la superficie cultivada con plantas de vid pasó de 201.113 hectáreas a 228.575 hectáreas. En 2000, la cantidad de uvas de alta calidad producida fue de 1.275.772 toneladas, en 2013 esta cifra se incrementó a 1.997.442 toneladas y en 2018 dicha cifra volvió a incrementarse a 2.568.726 toneladas marcando una clara tendencia en aumento. (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2000, 2014, 2018).

Primeros estudios realizados en establecimientos vitivinícolas en el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza durante la época de vendimia (enero-febrero-marzo) demuestran claramente las potencialidades de la integración en la envolvente arquitectónica de estrategias de acondicionamiento pasivo. En el período estudiado, la demanda de refrigeración es mayor debido a que toneladas de materia prima (a alrededor de 26-30°C de temperatura) deben ser procesadas a 8°C, mientras que las temperaturas exteriores se encuentran alrededor de los 38°C. Con consumos en el orden de las 100.000 kWh por mes (enero, febrero y marzo) de energía auxiliar no-renovable, las temperaturas interiores se mantienen alrededor de los 18°C. En la situación edilicia actual evaluada *in situ*, lograr temperaturas interiores estables en 15°C requeriría un consumo en el orden de los 390.000 kWh. (Ganem, Barea y Balter, 2015) El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009) realizó un estudio de relevamiento de consumos energéticos en 20 bodegas. El mismo reporta que los consumos eléctricos de las bodegas estudiadas se encuentran en un rango entre los 28.718 y los 709.257 kWh anuales, y que como promedio consumen 275.691 kWh de energía eléctrica al año. Las considerables variaciones dependen del tamaño de la bodega y de su orientación, forma y materialidad. Es evidente la oportunidad que se presenta en la mejora de las envolventes en bodegas si consideramos que hay bodegas que consumen sólo el 10% del consumo promedio y otras que consumen el triple que el consumo promedio. Asimismo, se ha demostrado que el nivel de temperatura interior necesario para la producción del vino, en algunos casos, es factible de ser alcanzado sólo a partir de la incorporación de estrategias pasivas en la envolvente arquitectónica eliminando de esta forma el consumo energético auxiliar. Existe la posibilidad de proyectar los espacios más comprometidos térmicamente en forma subterránea y/o agregar estrategias de ventilación nocturna y lograr temperaturas interiores en el orden de 15°C, óptimas para la elaboración vitivinícola. (Ganem, Barea y Balter, 2015).

En este trabajo se presenta la predicción del comportamiento térmico y energético de un proyecto de bodega a construirse en el Valle de Uco, Oasis Centro de la Provincia de Mendoza en la situación climática actual y en 3 escenarios tentativos a futuro (2020-2050-2080). Se evalúa en primera instancia el proyecto con la materialización habitual en la zona. Luego, se trabaja con la materialización de la envolvente al proponer mejoras en su resistencia térmica. El cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de los elementos de cerramiento de un local puede ser suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto. Por este motivo se elige trabajar con el coeficiente volumétrico de pérdida de calor G, que es un parámetro global que pondera todos los elementos que intervienen en el proceso, de acuerdo con lo establecido por la Norma Argentina IRAM 11604 (2001).

En el caso de la bodega en estudio, el valor G del proyecto original es de $G = 3,89$ y de $G = 0.843$ para el caso del proyecto mejorado. La Norma Argentina IRAM 11604 (2001) establece un G máximo admisible para el clima del lugar de $G=1.16$, por lo que las propuestas de mejora se enmarcan dentro de las exigencias de la normativa citada. El objetivo es a partir de la predicción del comportamiento térmico y energético, valorar la resiliencia y las posibilidades de adaptación al cambio climático en cada caso.

Estado del arte del problema

En la actualidad, el mayor foco en la eficiencia energética, los códigos más estrictos y la sostenibilidad han impulsado la demanda de la industria de la construcción a realizar un análisis energético integral en los proyectos. (American Institute of Architects, 2012) En algunos casos se trata de predecir el comportamiento térmico y energético para efectuar modificaciones en el proyecto, previas a su construcción, que posibiliten una mejora en el comportamiento del mismo. En otros casos, la búsqueda de la predicción térmica y energética responde también al logro de un estándar o certificación que acredite dicho comportamiento.

La Directiva Europea 2010/31/CE, determina para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios, qué aspectos deben considerar los procedimientos, dentro de su alcance y en relación al comportamiento energético de los edificios: capacidad térmica, aislamiento, calefacción pasiva, instalaciones de calefacción y ACS, ventilación natural y mecánica, iluminación, diseño, emplazamiento y orientación, cargas internas, energías renovables, entre otros. Asimismo, regula que al posible comprador o arrendatario de un edificio o de alguna unidad de un edificio se le debe dar, en el certificado de eficiencia energética, información correcta acerca de su eficiencia energética, así como consejos prácticos sobre cómo mejorarla. Las campañas de información pueden servir a animar más a propietarios y arrendatarios a mejorar la eficiencia energética de sus edificios o de unidades de estos. También debe animarse a propietarios y arrendatarios de edificios comerciales a intercambiar información en relación con el consumo de energía, con el fin de garantizar la disponibilidad de todos los datos para estar bien informados a la hora de tomar decisiones sobre las mejoras necesarias. El certificado de eficiencia energética debe también informar del impacto real de la calefacción y la refrigeración en las necesidades de energía del edificio, de su consumo de energía primaria y de sus emisiones de dióxido de carbono. (Unión Europea, 2010) Con el mismo objetivo, en el caso de Argentina, el Ministerio de Energía y Minería lleva adelante un programa de Etiquetado de Eficiencia Energética en el que se trabaja en el desarrollo de normativas de etiquetado y estándares mínimos que tengan impacto en el sector productivo. Las normas de etiquetado son estudiadas y desarrolladas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), con la participación de fabricantes, comercializadores, laboratorios de ensayo, organismos de certificación, universidades, expertos en la materia y autoridades; todos ellos involucrados en el proceso de etiquetado y certificación. En el año 2017 se iniciaron las pruebas piloto de Etiquetado de Eficiencia Energética en las principales ciudades del país, actualmente en marcha. (MINEM, 2018)

Para realizar un análisis energético integral de una edificación se utilizan programas de simulación dinámica. Al respecto Crawley, Lawrie; Pedersen y Winkelmann (2000) exponen en el ASHRAE JOURNAL que varios programas de simulación energética desarrollados a lo largo del mundo están llegando a la madurez. Muchos utilizan métodos de simulación (y hasta códigos) desarrollados originalmente en los años 60. Sin contar con un rediseño sustancial o reestructuración del programa, continuar expandiendo sus capacidades es difícil, consume mucho tiempo y es prohibitivamente costoso. Sin embargo, avances fenomenales en métodos de análisis y potencia computacional han incrementado la oportunidad para mejoras significativas en cuanto a la flexibilidad y capacidad abarcativa estas herramientas. Debido a estas circunstancias el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) comenzó en 1995 el desarrollo de una nueva generación de herramientas de simulación. El programa Energy Plus es un programa de simulación de comportamiento edificio que combina las mejores capacidades y herramientas de BLAST y DOE-2 junto con nuevas capacidades. Se trata de un nuevo código escrito en Fortran 90. Las características incluyen: 1-cálculos de carga de balance térmico; 2-cargas, sistema y planta integrados; 3-cálculos en el mismo lapso de tiempo; 4-descripción del sistema HVAC configurable por el usuario; 5-estructura modular para que sea fácil para otros desarrolladores agregar un nuevo módulo de simulación; 6-formatos simples de datos de entrada y salida para facilitar el desarrollo gráfico. No obstante el hecho de que ya han transcurrido 18 años desde que los mencionados autores exponían las bondades y recomendaban el uso del programa Energy Plus, la misma sigue siendo la alternativa que mejor se ajusta para la predicción de comportamiento térmico y energético de un edificio. Asimismo, además de los aspectos contemplados en las distintas normativas enunciadas, en este trabajo se propone trabajar con evaluaciones que incluyen en la predicción térmica y energética distintas situaciones climáticas a futuro para poder valorar la resiliencia que tendrá el edificio una vez construido frente a la adaptación al cambio climático. Los aspectos del diseño resiliente son importantes para reducir los impactos negativos del clima (mitigación) así como también para prepararse para eventos extremos resultantes del cambio climático (adaptación). El cambio climático debe ser referido de manera holística fusionando resiliencia y estrategias sustentables en una estrategia abarcativa de adaptación. (Achour y Price, 2010).

La metodología utilizada sigue las recomendaciones de la Agencia Internacional de la Energía (*International Energy Agency – IEA*) en su Anexo 21 “*Thermal Response Test*” (Clark, 2016) desarrolla el concepto de un “método de evaluación del rendimiento” (*performance assessment method - PAM*). Un PAM es una guía para evaluar el rendimiento edilicio a través de la simulación energética de un edificio, la que requiere el establecimiento de un caso base de diseño, la calibración del modelo, la evaluación de las condiciones límites, la identificación de problemas, la generación de posibles soluciones y su evaluación.

Utilización de la simulación con el software Energy Plus versión (8.9, 2018)

- Elaboración de un archivo de datos de clima estadísticos EPW para el sitio en que se construirá el proyecto.
- Elaboración de una biblioteca de propiedades físicas de materiales.
- Generación de un Modelo físico geométrico en Open Studio
- Identificación de 22 zonas térmicas, energéticas.
- Primera corrida general de 1 año de duración: 8760 horas.
- Valoración de los resultados y recomendaciones de mejora.
- Elaboración de una nueva biblioteca de propiedades físicas de los materiales.
- Segunda corrida general de 1 año de duración: 8760 horas.
- Trabajo con modelos de climas futuros.
- Análisis de sustentabilidad y resiliencia de los resultados obtenidos. Posibilidades de la bodega de adaptación al cambio climático.

Clima y modelos de clima futuros

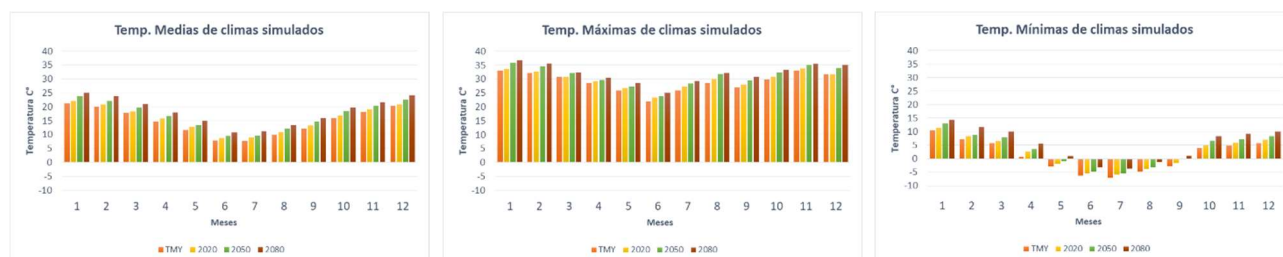
Los datos meteorológicos utilizados para construir simulaciones de energía se basan generalmente en condiciones climáticas actuales o pasadas. Sin embargo, la mayoría de los edificios tienen una vida útil de varias décadas, durante la cual el clima puede cambiar gradualmente (H. Kikumoto, et al 2015). Sería conveniente que las simulaciones energéticas edilicias incorporaran predicciones para garantizar que los edificios se adapten a condiciones futuras.

Para la creación de los escenarios meteorológicos, se utilizó la herramienta Climate Change World Weather File Generator (CCWorldWeatherGen) desarrollada por Sustainable Energy Research Group, Universidad de Southampton (SERG, et al 2009). Esta herramienta permite generar directamente archivos meteorológicos horarios en formato “.epw” para EnergyPlus en función de los datos mensuales climáticos futuros pronosticados por HadCM3 para el escenario A2 del IPCC (2010).

El escenario A2, se caracteriza por simular un mundo heterogéneo con países autosuficientes independientes, crecimiento continuo de la población y un desarrollo económico orientado a la región (IPCC, 2010).

Para predecir los escenarios futuros hacia el cambio climático, se utilizó archivos climáticos TMY2 presentes, del período 1961-1990, para Tupungato, Mendoza. Luego de generar el epw para Mendoza, el soft CCWorldWeatherGen, promedia, de acuerdo a una cuadrícula de 96°x73°, los cuatro puntos más cercanos a la localidad definida en el archivo *.epw. La grilla de cálculo para las coordenadas estudiadas caen con dos puntos sobre del lado cordillerano argentino y dos puntos sobre la costa chilena. Como para Mendoza no disponemos de grillas más detalladas se ha seleccionado el punto más cercano a las coordenadas de estudio, descartándose los otros puntos de la grilla.

En la Figura 1 se observan las temperaturas entre los escenarios TMY, 2020, 2050 y 2080. Los valores anuales muestran que el clima aumentaría sus temperaturas hacia el 2080. Los valores más comprometidos serían las temperaturas medias mínimas, ya que la diferencia entre el TMY y el escenario para el 2080, supera los 4.50 °C. Las temperaturas medias máximas y medias aumentan en promedio 3.10°C y 3.6°C respectivamente.



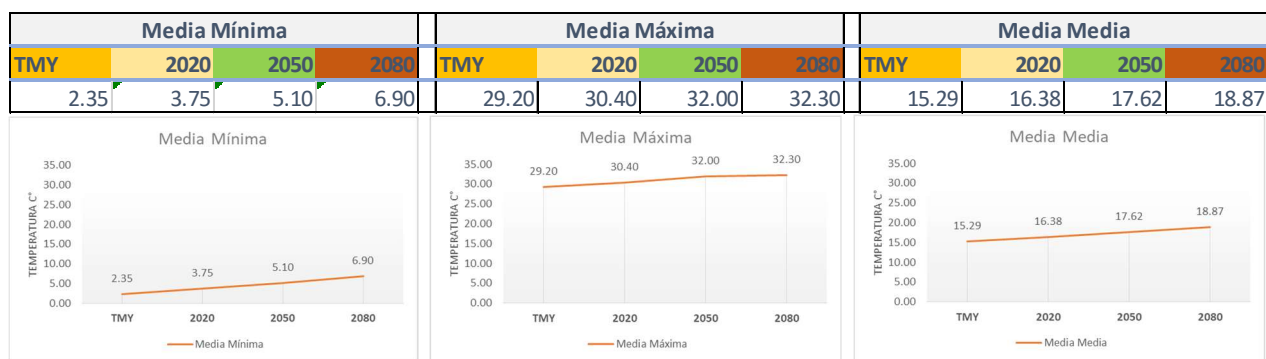


Figura 1. Climas simulados. De izquierda a derecha: (a) Temperaturas mínimas, (b) Temperaturas máximas y (c) Temperaturas medias.

Caso de estudio

A fin de incorporar estrategias sustentables en las primeras fases de un proyecto, se deben conocer los requerimientos higro-térmicos y lumínicos de cada espacio a construir. En el caso de una bodega las condiciones ambientales óptimas de los distintos locales, varían de unos a otros en función de las circunstancias de trabajo para las personas y de las mejores situaciones para el almacenamiento o crianza de los vinos. Los regímenes de temperatura y humedad son los principales factores ambientales que se precisan controlar en los distintos locales de la bodega, pero además son también de tener en cuenta en algunas dependencias, los niveles de iluminación necesarios para un adecuado trabajo, y la total ausencia de olores extraños, eliminados en algunos casos por una adecuada ventilación, y en otros casos por el control de los distintos materiales de construcción o de almacenamiento dentro de la bodega. (Moreno, J., 2008).

En este trabajo se presenta un proyecto de bodega de 3792 m², distribuidos 1867m² a nivel subsuelo (semi-enterrado) y 1925 m² a nivel sobresuelo. Las distintas etapas correspondientes a la elaboración del vino y al funcionamiento de la bodega se detallan a continuación subdivididas en 5 grupos:

1. Fermentación: 870m² (sobresuelo)

- La temperatura es más importante en los recipientes que en el conjunto del edificio. Entre la doble pared de las cubas donde se realiza la fermentación, se colocan unos tubos, por donde se hace circular agua caliente o fría, dependiendo de lo que se quiera conseguir.
- Como estas cubas tienen apertura superior, el CO₂ que se forma de las reacciones químicas por su mayor densidad que el aire, baja y se acumula en la parte inferior. Por lo que la ventilación debe ser inferior para mover este aire viciado.- Y la luz también puede variar la fermentación, así que la necesaria para manejarse dentro de la instalación, aunque esta la fase donde más iluminación se permite y se necesita.
- Ocupación: 0.01 personas por m².
- Termostato: Sin termostato.
- Renovaciones totales al 0.50 reno/hora en todos los espacios. Mezcla de aires entre zonas 1/hralwayson.

2. Crianza: 579 m² (subsuelo)

A partir de esta fase lo importante es la estabilidad dentro de los siguientes rangos de referencia:

- Temperatura del aire entre los 12-16 °C.
- mantener la humedad relativa en los márgenes 70-82 %.
- eliminar malos olores y demás sustancias volátiles del aire que puedan filtrarse por la madera de las barricas.
- Luz mínima. En esta etapa se realizan tareas de movimiento, ya sea trasiegos, almacenaje de barricas y por lo tanto la necesidad de iluminación es variable.
- Ocupación: 0.01 personas por m².
- Termostato: 15 – 17°C.
- Renovaciones totales al 0.50 reno/hora en todos los espacios. Mezcla de aires entre zonas 1/hralwayson.

3. Guarda: 644m² (subsuelo)

De todas las etapas, en esta la estabilidad es la fundamental. Mantenerse los cuatro parámetros (temperatura, humedad, iluminación y ventilación) estables y controlados es esencial para conseguir que el vino salga bien. Ya que en esta etapa el vino está embotellado, ya no se tocará hasta que se traslade.

- Temperatura del aire entre los 12-16 °C.

- mantener la humedad relativa en los márgenes 70-82 %.
- Mantener niveles bajos de iluminación es más importante que en el resto de fases. Aquí el vino esta en botella de vidrio que deja pasar la luz, sobre todo los ultravioletas, son los que más pueden afectar la calidad final del producto.
- Ocupación: 0.01 personas por m².
- Termostato: 15 – 17°C.
- Renovaciones totales al 0.50 reno/hora en todos los espacios. Mezcla de aires entre zonas 1/hr always on.

4. Oficinas, Turismo y espacios de permanencia de personas: 719 m² (sobresuelo)

Estos espacios se encuentran sobresuelo y están preparados para recibir al visitante o turista. Buscan las mejores vistas y la envolvente conciente una mayor cantidad de superficies vidriadas a los fines de posibilitar la comprensión del entorno paisajístico del oasis productivo del Valle de Uco en el que se encuentra situada la bodega. También incluyen espacios para el personal de la bodega: vestuarios, baños, cocina, comedor y oficinas de trabajo para el enólogo.

- Ocupación: 0.02 personas por m².
- Termostato: 20°C – 24°C.
- Renovaciones totales al 0.50 reno/hora en todos los espacios. Mezcla de aires entre zonas 1/hralwayson.

5. Sala de máquinas y depósitos: 980 m² (principalmente en subsuelo)

En las salas de máquinas y depósitos no permanecen las personas, tampoco el personal que trabaja en la bodega.

- Ocupación: 0.01 personas por m².
- Termostato: sin termostato.
- Renovaciones totales al 0.50 reno/hora en todos los espacios. Mezcla de aires entre zonas 1/hralwayson.

Resultados

De acuerdo con el proyecto inicial, el consumo actual se estimó en 35,70 kWh/m² (135.374,40 kWh año), y al efectuarse las mejoras propuestas en la envolvente el consumo se redujo a la mitad, a 18,28 kWh/m² (69.317,76 kWh año). (Figura 2). A partir de estos resultados se evalúan los consumos futuros en los tres escenarios tentativos 2020, 2050 y 2080. En las Figuras 3, 4 y 5 se puede observar respectivamente los resultados en forma comparativa.

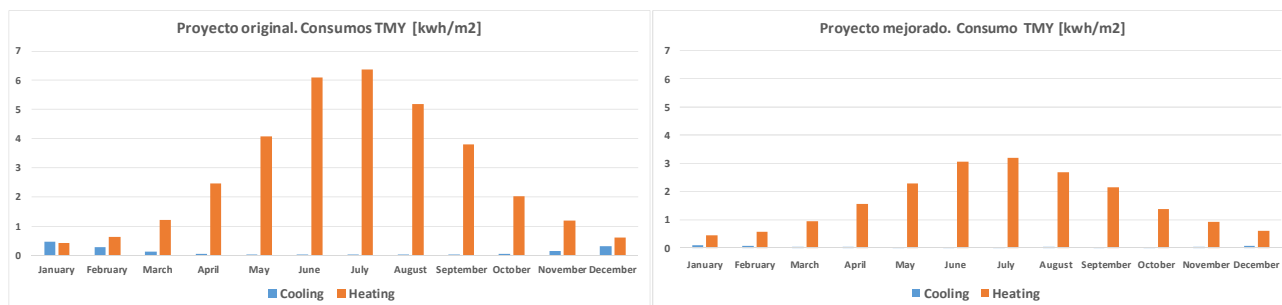


Figura 2. Consumo TMY en kWh m². De izquierda a derecha: (a) Proyecto Original y (b) Proyecto mejorado.

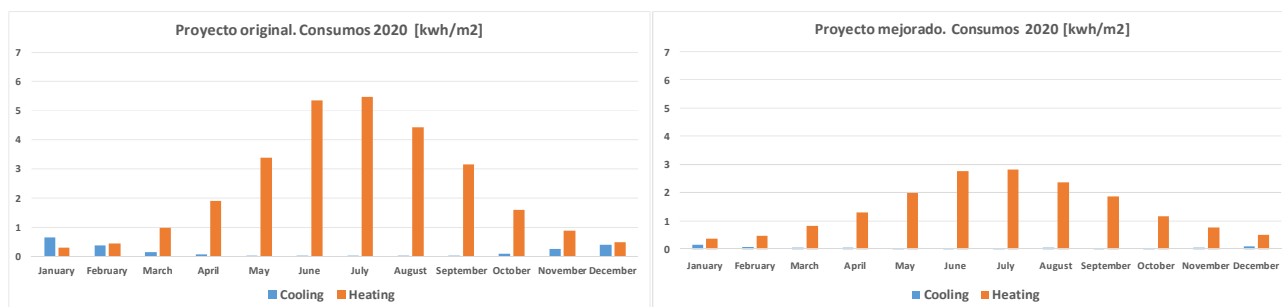


Figura 3. Consumo 2020 en kWh m². De izquierda a derecha: (a) Proyecto Original y (b) Proyecto mejorado.

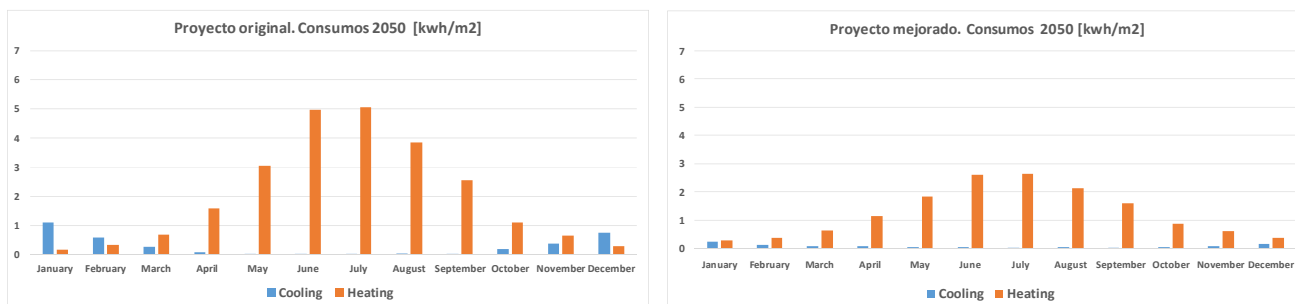


Figura 4. Consumo 2050 en kWh m2. De izquierda a derecha: (a) Proyecto Original y (b) Proyecto mejorado.

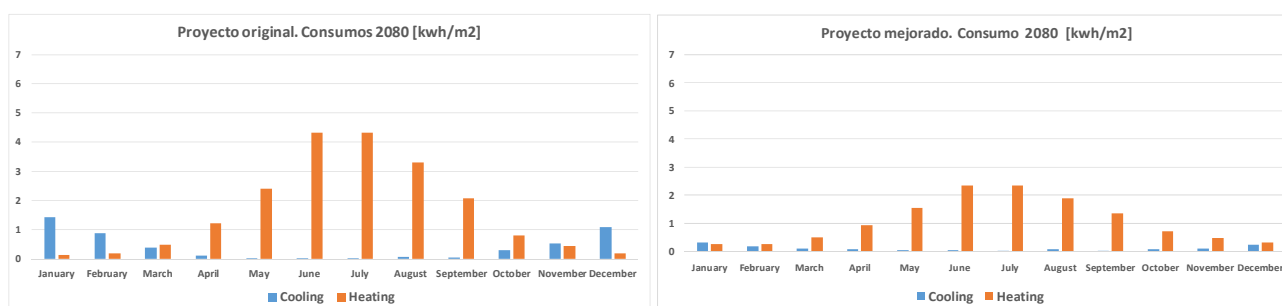


Figura 5. Consumo 2080 en kWh m2. De izquierda a derecha: (a) Proyecto Original y (b) Proyecto mejorado.

El consumo estimado mediante simulación para el año 2020 resulta en un consumo de 30,55 kWh/m² (115.845,60 kWh año) en el caso del proyecto original y de 16,82 kWh/m² (63.781,44 kWh año) en el caso del proyecto mejorado. (Figura 3). En el caso de la predicción de consumo energético para el año 2050, el proyecto original consumiría 27,96 kWh/m² (106.024,32 kWh año) y el proyecto mejorado 15,02 kWh/m² (56.955,84 kWh año). (Figura 4). Y, para el caso del consumo estimado para el año 2080, el proyecto original consumiría 24,85 kWh/m² (94.231,20 kWh año) y el proyecto mejorado 14,12 kWh/m² (53.543,04 kWh año). (Figura 5).

Nótese que al tratarse de un clima frío, el incremento de temperatura previsto por la predicción climática en tres escenarios a futuro resulta favorable en lo que respecta al consumo total edilicio. En el caso del proyecto original, los consumos por calefacción se reducen de 6,3 kWh/m² en el mes de Julio actual (TMY) a 4,3 kWh/m² en el mes de Julio del escenario 2080. No obstante, los consumos de refrigeración se triplican en el mes de Enero respectivamente. (De 0,5 kWh/m² en el mes de Enero actual (TMY) a 1,3 kWh/m² en el mes de Enero del escenario 2080).

Discusión y Conclusiones

La Figura 6 presenta una comparación entre la energía total consumida por kWh/m² en los cuatro escenarios comparados para el caso del proyecto original y para el caso del proyecto con mejoras.

Bajo las condiciones de este estudio, la transmitancia térmica de la envolvente parece tener el mayor impacto en la flexibilidad térmica. También se observó que la masa térmica tiene una influencia secundaria para los indicadores evaluados; su variación solo afecta la flexibilidad térmica si la resistencia térmica de la envolvente es suficiente. Es interesante este tipo de análisis en el caso de edificios industriales dedicados a la producción vitivinícola en los que los requerimientos de temperatura interior son distintos a los que se deberían contemplar en el caso de la permanencia de personas como es el caso de las viviendas, las escuelas, las oficinas, entre otros. En el caso analizado este tipo de ambientes con termostato fijo entre los 20°C y los 24°C representa sólo el 19% del total de los m² involucrados en el proyecto. En conclusión, el edificio con mejoras resulta ser resiliente y se adapta mejor al cambio climático (según el escenario de emisiones A2 del IPCC) manteniendo los consumos energéticos de refrigeración a lo largo de su vida útil, a diferencia del proyecto inicial en el que los consumos energéticos de refrigeración llegan a triplicarse para el año 2080.

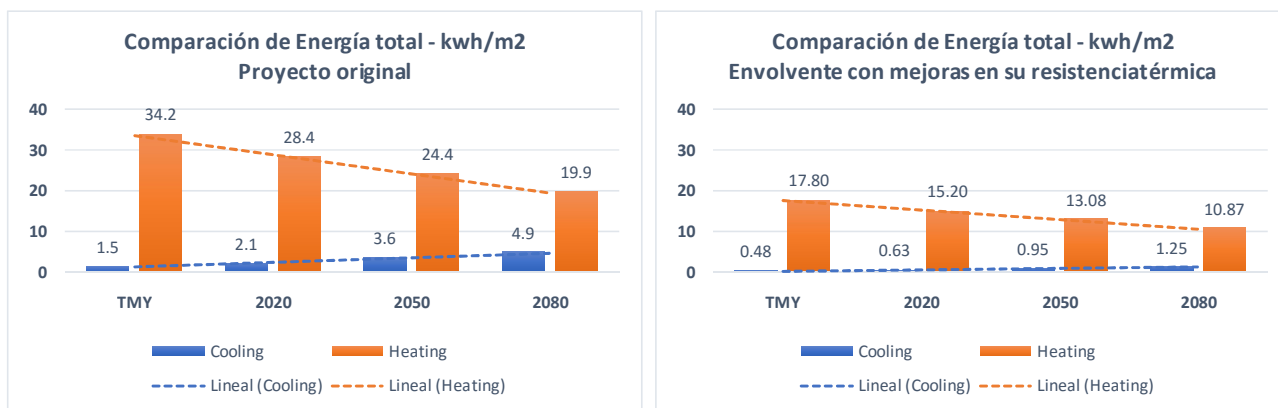


Figura 6. Comparación de predicción de la energía total consumida en kWh/m2. De Izquierda a derecha: (a) Proyecto Original y (b) Proyecto mejorado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la SECTYP-UNCUYO por la financiación del Proyecto de I&D “USO RACIONAL DE LA ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA” que posibilitó contar con los recursos económicos para poder desarrollar la presente investigación.

Referencias

- Achour, N., Price, A. (2010) Resilience strategies of healthcare facilities: present and future. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 1 (3), pp. 264 - 276.
- American Institute of Architects (2012) An Architect's Guide to Integrating Energy Modeling in the Design Process. <http://www.aia.org/practicing/AIAB094452/> Consultado: Agosto 2013.
- Clarke, J. (2001) Energy simulation in building design. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2nd edition.
- Correa, E.N. (2006) Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Crawley, D.B; Lawrie, L.K.; Pedersen, C.O. y Winkelman, F.C. (2000). EnergyPlus: Energy Simulation Program. *ASHRAE Journal*. Abril 2000.
- Ganem, C.; Barea, G. y Balter, J. (2015) Evaluación del desempeño ambiental de dos bodegas en Mendoza (Argentina). Propuesta de reacondicionamiento térmico y energético. *Revista Hábitat Sustentable* N° 5 (2015) 4-13. ISSN 0719-0700. Concepción: Univ. del Bio-Bio.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. <http://www.inv.gov.ar/> Consultado: Junio 2000, Junio 2014, Junio 2018.
- IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2010). Consultado: Junio 2018 en <http://www.ipcc-data.org>
- IRAM. (2001) Norma Argentina IRAM 11604:2001. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009) Anuario de estadística 2009. Fichero coordinado de industrias agroalimentarias 2007-2008. MMAMRM: Madrid. <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/03200.pdf> Consultado Julio 2018.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación – MINEM (2018) Iniciativas y proyectos. <https://www.minem.gob.ar/www/835/26768/iniciativas-y-proyectos>. Consultado: Mayo de 2018.
- Moreno, J. (2008) La bodega: modelo de arquitectura sostenible. Tesis de Maestría. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pulíafo, E. (2005) Proceso de urbanización y emisiones de gases de efecto invernadero. I Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería ENIDI 2005. Mendoza, Argentina.
- Scofield, J. 2012. The Science Behind Green Building Rating Systems, Written testimony to the U.S. House of Representatives. Technical Report. Oberlin College. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CHRG-112hrg74061/pdf/CHRG-112hrg74061.pdf> Consultado: Junio 2018.
- SERG, Climate Change World Weather File Generator-CCWorldWeatherGen, (2009). Consultado: Junio 2018 en <http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/>.
- United Nations Energy Programme (2011). What offers governments the greatest potential for reducing GHG emissions at the least cost while creating jobs and improving energy security? Technical Report. Washington: United Nations.
- Unión Europea - UE (2010) DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf> Consultado: Mayo 2018.