

Construir un pozo canadiense en Argentina **Análisis de alternativas para lograr una adecuada calidad del aire**

Building a Canadian well in Argentina **Analysis of alternatives to achieve adequate air quality**

María Belén Birche*

Universidad Nacional de La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina

mariabelen.birche@ing.unlp.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0001-6188-2180>

Julián Carelli Cerdá**

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

jcarelli@fau.unlp.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0002-9916-2258>

Jorge Daniel Czajkowski***

Universidad Nacional de La Plata, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

jczajkowski@fau.unlp.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0001-8857-7880>

Fecha de envío: 17 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 11 de julio de 2025

Fecha de publicación: diciembre 2025

Disponible en: <https://doi.org/10.24215/24226483e151>



[Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

* Ingeniera Civil UNLP, obtuvo una beca de la CIC para desarrollar su doctorado sobre energía geotérmica de baja entalpía como servicio urbano. Participó en auditorías de energía en el proyecto internacional EUROCLIMA+. Realizó una estancia de investigación en el CIEMAT de Madrid.

** Arquitecto UNLP, profesor titular de la asignatura de grado Procesos Constructivos, responsable del Posgrado de Innovación Tecnológica y Medio Ambiente. Fundador de la Red Iberoamericana de Innovación en el Proyecto de Arquitectura. En el ámbito privado, interviene alternadamente como auditor, proyectista, director de obra y gerente técnico, con un total a la fecha de 7500m2

*** Arquitecto y doctor en ingeniería UNLP. Profesor titular de instalaciones FAU UNLP. Investigador independiente del Conicet. Director del Laboratorio de arquitectura y hábitat sustentable y de las carreras de maestría y especialización homónimas. Posee más de 200 publicaciones. Recibió premios como proyectista, asesor y a su labor científica

Resumen

El presente trabajo es parte de la investigación realizada, para la tesis doctoral inédita de la Ing. María Belén Birche. Se describe brevemente qué es la geotermia, y los sistemas que existen para aprovechar el recurso. Posteriormente, el estudio se centra en el sistema más simple y económico, denominado tradicionalmente como “Pozo Canadiense”. Se analiza la normativa vigente y los requisitos de la instalación. Se detallan los contaminantes del aire que la instalación debe evitar. Se identifican problemas para resolver las partes del sistema en el mercado nacional. Se estudian antecedentes en Argentina y Europa para resolver los inconvenientes encontrados, y se proponen soluciones.

Palabras clave: pozo canadiense, energía geotérmica, calidad del aire, Argentina, ahorro energético

Abstract

This paper is part of the research carried out for the unpublished doctoral thesis of María Belén Birche. It briefly describes what geothermal energy is and the systems that exist to exploit the resource. Subsequently, the study focuses on the simplest and most economical system, traditionally known as the ‘Canadian Well’. Current regulations and installation requirements are analysed. The air pollutants to be avoided by the installation are detailed. Problems are identified to solve the parts of the system in the national market. Antecedents in Argentina and Europe are studied to solve the disadvantages found and solutions are proposed.

Keywords: canadian well, geothermal energy, air quality, Argentina, energy savings

Introducción

En la actualidad, se puede comprobar la relevancia y la potencialidad de la energía geotérmica a partir de algunos datos clave:

El consumo de energía para la refrigeración de espacios, se ha más que triplicado desde 1990, con implicaciones significativas para las redes eléctricas, las emisiones de gases de efecto invernadero y las islas de calor urbanas. La falta de acceso a la refrigeración interior, pone a gran parte de la población mundial en alto riesgo de sufrir estrés por calor, lo que afecta negativamente al confort térmico, la productividad laboral y la salud humana (Delmastro y Martinez-Gordon, 2023).

A nivel mundial, el funcionamiento de los edificios representa el 30% del consumo final de energía (Delmastro y Chen, 2023). Por su parte, el consumo energético para el calentamiento de espacios y agua representa casi la mitad del consumo energético mundial en edificios (Briens y Martinez-Gordon, 2023).

En Argentina, el sector residencial, comercial y público, consume el 34% de la energía total, y el predominio fósil ocurre tanto en calefacción como en refrigeración. La matriz de energía primaria en la última década, varía entre el 85 a 95% de fuentes fósiles. Si se observa únicamente la generación de energía eléctrica, el porcentaje que se obtiene a partir de recursos fósiles es 61% (CAMMESA, 2023; Secretaría de Energía, 2023).

Dado que la mayor parte de la demanda de calefacción, se satisface actualmente con combustibles fósiles, y que la demanda de refrigeración va a aumentar drásticamente, es importante introducir medidas para proporcionar calefacción y refrigeración, sin que ello suponga un aumento significativo de la demanda energética (Mahon et al., 2022).

En este marco, la energía geotérmica se presenta como una alternativa a las fuentes de energía tradicionales. Entre sus principales beneficios, se puede mencionar que es un recurso ilimitado en la escala humana, siempre que la explotación se realice de forma racional. No depende de las condiciones climatológicas ni de la estación anual. Es una energía constante, determinada por las características del subsuelo, lo cual asegura una gran regularidad en su utilización. También es destacable la accesibilidad, ya que está presente en todo el suelo de los continentes (Llopis Trillo y Rodrigo Angulo, 2008). Esta característica local, evita las pérdidas derivadas del transporte de electricidad, y la contaminación que provoca el transporte de combustibles. Las instalaciones que

emplean bombas de calor geotérmicas, son conocidas por su alto Seasonal Performance Factor, por lo cual el consumo energético es menor a los sistemas tradicionales (Llopis Trillo y Rodrigo Angulo, 2008).

Respecto a la capacidad mundial de calefacción y refrigeración geotérmicas instalada, fue de 107,4 GWth en 2020. Las aplicaciones de calefacción y refrigeración geotérmicas se concentran en tres regiones: La región de Asia y Oceanía (43%), le siguen Eurasia (35%) y Norteamérica (21%). América Latina y el Caribe, África y Oriente Medio, contribuyen cada una con un 1% o menos (International Renewable Energy Agency y International Geothermal Association, 2023).

En Europa hace más de veinte años se aplican estas tecnologías. A finales de 1995, Alemania ya contaba con veintidós grandes instalaciones centralizadas de calor geotérmico (Clauser, 1997). La utilización directa de la energía geotérmica a nivel mundial, aumentó más de un 50% entre 2015 y 2020 (International Renewable Energy Agency y International Geothermal Association, 2023).

Como se mencionará posteriormente, existen numerosos sistemas para el aprovechamiento del recurso geotérmico. El más económico es tradicionalmente conocido como “Pozo Canadiense”, y presenta una serie de requerimientos que inducen complejidades, a la hora de diseñar y materializar el sistema. Particularmente en un país como Argentina, donde no es utilizado masivamente y no se encuentran determinados productos en el mercado local. Es por ello que en este trabajo, se realiza un análisis de los requerimientos, inconvenientes y posibles soluciones. A continuación, se describe de forma breve qué es la geotermia y su clasificación.

Energía geotérmica

La energía geotérmica, es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra, y engloba desde el calor útil para el acondicionamiento térmico de edificios (muy baja y baja temperatura), hasta el capaz de aprovecharse por medio de una central eléctrica (alta temperatura). Puede clasificarse en: recursos de muy baja temperatura (menos de 30 °C), recursos de baja temperatura (entre 30 y 90 °C), recursos de media temperatura (entre 90 y 150 °C) y recursos de alta temperatura (más de 150 °C) (Llopis Trillo y Rodrigo Angulo, 2008).

La energía geotérmica de muy baja temperatura, basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor, y de mantener una temperatura sensiblemente constante a lo

largo de todo el año, lo cual permite aprovechar los diferenciales térmicos entre el suelo y la atmosfera, en las distintas estaciones (Martín Díaz, 2018).

Existen numerosos sistemas para captar la energía geotérmica, y aprovecharla para acondicionamiento térmico de edificios y/o producción de agua caliente sanitaria, como los pozos canadienses, sondas geotérmicas verticales de circuito cerrado o abierto, los almacenamientos de calor geotérmico estacional, entre otros. Todos ellos se componen de tres partes principales. Un sistema de captación de calor geotérmico, una bomba de calor geotérmica (o varias o ninguna) y un sistema de distribución hasta los puntos de demanda.

Los sistemas de captación de calor geotérmico son numerosos, pero principalmente consisten en una tubería por la cual circula un fluido encargado de captar y transportar el calor del terreno hasta o desde la bomba de calor. Ese fluido suele ser agua o aire, pero a veces se agregan otras sustancias que mejoran el funcionamiento. Existen captadores de desarrollo horizontal y vertical. Hay casos que incluso se aprovechan los pilotes de cimentación de edificios, para incorporar los colectores de calor.

La bomba de calor es una máquina térmica, que toma calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente, gracias a un trabajo mecánico aportado desde el exterior. Este elemento del sistema, debe aportar el salto térmico que se requiera, y conducirlo hasta el punto de demanda. Actualmente existen bombas de calor reversibles, que permiten extraer el calor en cualquiera de los dos sentidos, como el aire acondicionado en modo frío y modo calor. Las bombas de calor geotérmicas, poseen mejores rendimientos que las bombas de calor convencionales, ya que extraen calor de un medio menos frío (el terreno 16,5°C) que las bombas de calor convencionales (el aire atmosférico 5°C) en invierno, y viceversa en verano (Llopis Trillo y Rodrigo Angulo, 2008).

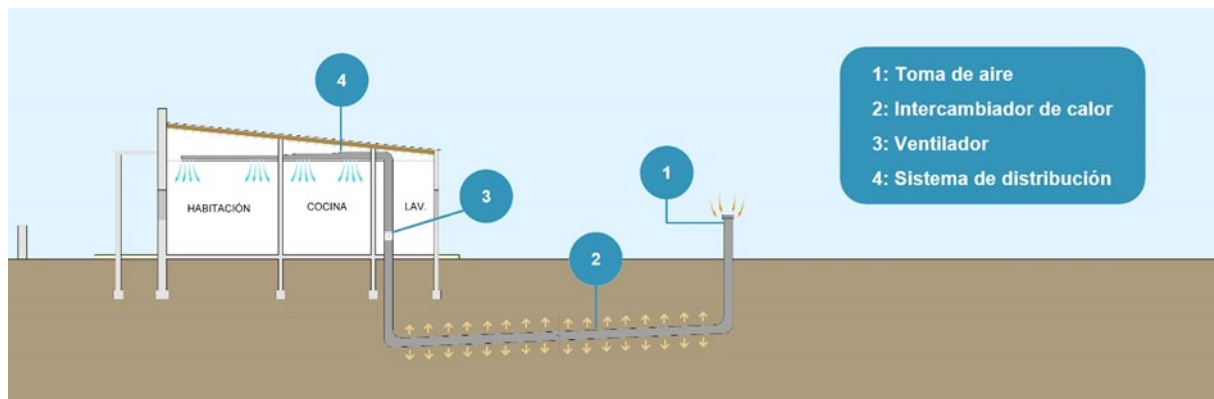
Al final del circuito de distribución se encuentran los puntos de demanda, donde debe ser entregado el calor (o el frío). Estos espacios son el punto de partida para el dimensionamiento del sistema. A continuación, se describe el sistema denominado “Pozo Canadiense” objeto de este estudio.

Pozos Canadienses

Los pozos canadienses, son un sistema de aprovechamiento geotérmico que permite el acondicionamiento del aire, pero no proporciona agua caliente sanitaria.

La instalación se compone de cuatro partes principales. Una torre de aspiración o toma de aire, por donde ingresa el aire del exterior, un conducto (o varios) enterrado que funciona como intercambiador de calor, un ventilador que impulsa el aire y un sistema de distribución que reparte el aire por la vivienda.

Figura 1: Esquema de partes componentes de un Pozo Canadiense.



Fuente: Elaboración propia.

La profundidad, diámetro y longitud del intercambiador, deben calcularse teniendo en cuenta las ecuaciones de intercambio de calor del aire con el suelo. La metodología de cálculo de estas variables se puede encontrar en varios artículos, como el de Contreras Muñoz, Martín Díaz o Birche et. al. (Contreras Muñoz, 2021) (Martín Díaz, 2018) (Birche et al., 2024) pero excede a los objetivos del presente estudio.

A continuación, se enunciarán los requerimientos que deberá cumplir un pozo canadiense, al tratarse de una instalación de aire acondicionado

Normas y requerimientos de una instalación de acondicionamiento de aire

A pesar de todos los requisitos que una instalación de aire acondicionado debe cumplir, en Argentina no existen normas que regulen y garanticen el correcto funcionamiento de una instalación de aire acondicionado, ni la adecuada calidad del aire interior. Las normas que pueden encontrarse en la página del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud de la Nación Argentina, s. f.) no cuentan con

información relevante para este fin. En el año 2012 este inconveniente fue mencionado, indicando la necesidad de recurrir a normas internacionales (Alonso et al., 2012). En la tesis de maestría (Sáez, 2019) puede encontrarse una detallada lista de normas internacionales, referentes a la calidad del aire interior.

Uno de los principales inconvenientes de no contar con normativa local, es que las normas internacionales no se encuentran disponibles de forma gratuita, para ser consultadas. España posee una gran cantidad de guías gratuitas de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Vinkesteyn y Zamora, 2014), Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, 2012) y un Reglamento de Instalaciones Térmicas (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios., 2021) que resultan de gran utilidad para el diseño de instalaciones de aire.

Respecto de los requerimientos necesarios, el Ing. Néstor Quadri define el acondicionamiento del aire, como la realización de ciertas funciones básicas de tratamiento del aire, destinadas a proporcionar durante todo el año, una atmósfera interior saludable y confortable para la vida de las personas, y la ejecución de diversos procesos industriales, con control automático, sin ruidos molestos y con el más bajo consumo energético (Quadri, 2014).

Para la vivienda, esas funciones básicas son: Ventilación y Circulación, Filtrado, Humidificación y Deshumidificación, Refrigeración y Calefacción. A continuación, se describe cada función básica del aire acondicionado, y los problemas de salud que pueden acontecer cuando estas funciones no se tienen en cuenta.

Ventilación y circulación

La calidad del aire interior comenzó a tomar importancia a partir de 1989, como consecuencia de la Crisis Energética de 1970, y la premisa de la conservación de la energía. Se difundió el uso de aislamiento térmico y se disminuyeron las renovaciones de aire, haciendo que los edificios se “hermetizaran”. Es así que las condiciones ambientales interiores se vieron especialmente perjudicadas, por un aire con alto contenido de contaminantes (Sáez, 2019). Estudios demostraron, que la cantidad acumulada de fibras en el aire interior y el polvo depositado, era 30 veces mayor que la medida en el aire exterior (Soltani et al., 2021). Esta situación toma particular importancia, si se

tiene en cuenta que un ciudadano promedio transcurre más de un 90% de su tiempo en edificios (Sáez, 2019).

Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes. Las estimaciones indican que siete millones de personas mueren cada año, por la contaminación del aire exterior y doméstico (Organización Mundial de la Salud, 2018b). Los contaminantes del aire se pueden clasificar en tres grandes grupos según su origen: químico, físico y biológico.

Uno de los principales cambios químicos que se producen en un ambiente cerrado, es la reducción del contenido de oxígeno, y aumento del de dióxido de carbono debido a los procesos respiratorios de las personas, y los procesos de combustión de los artefactos de cocina y calefacción. Cuando el oxígeno es escaso, ocurre un proceso de combustión incompleta, que libera monóxido de carbono. La acumulación de CO₂ por encima de 1.200 ppm disminuye la capacidad de aprendizaje en un 30%, y aumenta los fallos mecanográficos en un 50% (Vinkesteyn y Zamora, 2014). El monóxido de carbono (CO) constituye una de las principales causas de muerte por envenenamiento, tanto en Argentina como en el mundo (García, 2016).

Además, en los edificios se emanan químicos conocidos como compuestos orgánicos volátiles, por el uso o almacenamiento de adhesivos, conservantes de madera, pinturas, decapantes de pintura, repelentes, pesticidas, combustibles, tintas, productos de limpieza, cosméticos, perfumes, revestimientos. La exposición a compuestos orgánicos volátiles, puede causar síntomas como dolor de cabeza, náuseas, e irritación en los ojos, la nariz y la garganta (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2024). Se sospecha que algunos compuestos orgánicos volátiles causan cáncer en los seres humanos, y se sabe que causan cáncer en los animales (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024).

Respecto a la contaminación de origen físico, encontramos que el aire interior puede contener partículas en suspensión de diversos tamaños, que abarcan una gran cantidad de sustancias. La OMS (Organización Mundial de la Salud, 2018a) clasifica el material particulado por su tamaño en PM_{2.5} Y PM₁₀. Las PM_{2.5} son partículas que tienen un diámetro inferior a las 2,5 micras y las PM₁₀, un diámetro inferior a las 10 micras. El tamaño de las partículas está directamente relacionado con su potencial para causar problemas de salud. Las partículas finas (PM_{2.5}) son las que presentan mayor riesgo (Miller y Xu, 2018). Esto se debe a que pueden llegar a zonas más profundas de los pulmones, e incluso ingresar al torrente sanguíneo (Leslie et al., 2022).

En un estudio (Soltani et al., 2021) (Taylor et al., 2021) se analizó el polvo depositado en el aire interior de 32 hogares de Sídney, Australia. Se encontró que cada día se depositan entre 22 y 6.169 microfibras por metro cuadrado. El 39% de las partículas eran microplásticos; el 42% eran fibras naturales como algodón, pelo y lana; y el 18% eran fibras naturales transformadas como viscosa y celofán. El 1% restante eran películas y fragmentos de diversos materiales.

Una de las fuentes más peligrosas y mayoritaria que conforma los contaminantes físicos en las viviendas son los microplásticos

¹².

En los hogares provienen de una variedad de artículos, como la ropa, los muebles, utensilios de cocina, revestimientos o envases de alimentos (Dris et al., 2017). El simple hecho de abrir un envase de plástico libera microplásticos, según un artículo publicado en 2020 (Sobhani et al., 2020). Los estudios sobre la inhalación de micro y nanopartículas de plástico, muestran una serie de efectos adversos que incluyen: reacciones inmediatas parecidas al asma; reacciones inflamatorias y cambios fibróticos, como bronquitis crónica; estrés oxidativo y enfermedades autoinmunes. Los estudios de laboratorio en peces, han descubierto que los plásticos pueden causar daño a los sistemas reproductivos y estresar el hígado (Center for International Environmental Law, 2023). Un estudio (Leslie et al., 2022) encontró plásticos en la sangre de 17 de 22 donantes de sangre sanos, comprobando que las partículas pueden ser transportadas a través del torrente de sangre.

Los contaminantes de origen biológico vinculados a un hogar, pueden ser de origen vegetal (pólenes y esporas), de origen animal (ácaros, insectos), y de origen microbiano (hongos-mohos y levaduras, bacterias y virus, entre otros) (Sáez, 2019).

Respecto a los de origen vegetal, se debe tener en cuenta a la hora de elegir un terreno con vegetación existente o la vegetación a colocar, las propiedades de esta. Existen algunas especies que provocan reacciones alérgicas en algunas personas, como es el caso del árbol *Platanus Acerifolia* (Sierra y Latorre, 2020).

¹ Los microplásticos se producen intencionalmente para un uso específico o resultan de la fragmentación de plásticos más grandes, que pueden incluir plásticos desechados hace décadas (Center for International Environmental Law, 2023).

² Los microplásticos se producen intencionalmente para un uso específico o resultan de la fragmentación de plásticos más grandes, que pueden incluir plásticos desechados hace décadas (Center for International Environmental Law, 2023).

Respecto a los agentes de origen animal, resulta necesario colocar mosquiteros en las ventanas y en las tomas de aire de cualquier instalación de aire. Esto permite evitar el ingreso de mosquitos, que en muchas zonas de Argentina están propagando Dengue y otras enfermedades (Gil et al., 2020).

Los agentes de origen microbiano, resultan fundamentales en instalaciones de aire de hospitales y quirófanos, ya que existen espacios donde se debe garantizar la ausencia de bacterias y virus que comprometan a los pacientes. Estos espacios requieren filtros de alta eficiencia junto a otras medidas, como la presurización de espacios. En las viviendas es muy frecuente encontrar hongos en los muros y cielorrasos³. En las recomendaciones de la OMS, se indica que las envolventes de edificios bien diseñadas, bien construidas y bien mantenidas, son fundamentales para la prevención y el control del crecimiento microbiano (Organización Mundial de la Salud, 2018a). En general, diferentes especies de mohos producen dolencias o afecciones de carácter menor, como alergias nasales y cutáneas, pero algunas toxinas liberadas por los mohos, son posibles carcinogénicas. Por ejemplo, las aflatoxinas producidas por el género *Aspergillus* spp., producen cáncer de hígado (Sáez, 2019). En la tesis (Sáez, 2019) de Sáez se encuentra extensamente detallado este tema.

En una vivienda, todas estas sustancias permanecen y se acumulan en su interior. Por lo tanto, debe proyectarse la entrada de una cierta cantidad de aire puro exterior, para diluir los contaminantes. También será importante diseñar una adecuada circulación del aire, evitando las zonas de aire estancado y deposición de contaminantes.

Filtrado

Los filtros son el primer elemento, que se coloca en las tomas de aire de un sistema de aire acondicionado con distribución por conductos, para prevenir el ingreso de contaminantes exteriores al interior del edificio. No solo está destinado a proteger a los locales, sino también a los demás elementos que componen la instalación, como los conductos de distribución (Quadri, 2014). Existen filtros con diferente capacidad de filtrado, que van desde filtros para polen hasta filtros absolutos aptos para aire de quirófano. Sin embargo, en las viviendas, los filtros están destinados a eliminar las partículas de polvo, pero no las impurezas de diámetros muy pequeños o gérmenes.

³ Las condiciones ideales para la proliferación de mohos son ambientes con más de 50% de humedad relativa, poca o nula ventilación, zonas humedecidas por condensación o filtración y una diferencia de temperatura entre el aire y la superficie de los cerramientos muy grande (Sáez, 2019).

Existen fuentes naturales de contaminación del aire exterior como por ejemplo las tormentas de polvo o el radón (Organización Mundial de la Salud, 2018b)⁴. La incineración de residuos es otra fuente de contaminación del aire por nanopartículas, como señaló el doctor en química Paul Connet durante su visita a la Legislatura porteña en el año 2018. Otro contaminante habitual es el humo del tabaco, que contiene carcinógenos y varios componentes tóxicos (Organización Mundial de la Salud, 2018a).

Las industrias también liberan sustancias, que pueden degradar el aire exterior (Organización Mundial de la Salud, 2024). En el interior de Argentina, la industrialización de la agricultura ha provocado contaminación del aire, y problemas de salud en los argentinos. El total de los argentinos que participaron del estudio, presentaron de 2 a 10 plaguicidas en sangre. Los plaguicidas se transfieren a través del agua, los alimentos y la inhalación de partículas del aire. De los 83 principios activos hallados en los alimentos analizados por SENASA: el 51 % fueron prohibidos en la Unión Europea, el 49 % son considerados agentes cancerígenos, y el 76 % están catalogados como alteradores hormonales (Mangia y Cabaleiro, 2024).

Respecto al transporte, aún tenemos la mayoría del parque automotor a combustión, a pesar de ser uno de los países con mayores reservas de litio en el mundo. La combustión del transporte contiene contaminantes del aire comunes, que generan intensas preocupaciones. Incluyen materia particulada (PM), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), plomo (Pb), compuestos orgánicos volátiles (VOC) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) (Han & Naeher, 2006).

Para contrarrestar los efectos de los contaminantes derivados del transporte, se puede señalar el rol clave que cumple el arbolado urbano. Un árbol maduro puede absorber hasta 150 kg de contaminantes por año. David Nowak, explica que los árboles incorporan gases y contaminantes a través de las estomas en sus hojas, o capturan partículas en la superficie de sus hojas. Los gases ingresan al interior de las hojas donde se disuelven y funcionan como fertilizante (Nowak et al., 2014; Organización de las Naciones Unidas Hábitat, 2019).

⁴ El radón es un gas radiactivo que se encuentra presente en algunos tipos de suelos. Como es más pesado que el aire, tiende a acumularse en zonas bajas y donde no hay circulación de aire. Al respirarlo puede provocar cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2021). La OMS recomienda establecer un promedio anual de referencia de 100 Bq/m³ en todos los países y, si se dan circunstancias concretas que impiden alcanzarlo, fijar un nivel que no supere los 300 Bq/m³ (Organización Mundial de la Salud, 2018a). Según las mediciones, en Argentina, son muy pocos los valores que superan los 200 Bq/m³ y ninguno supera los 300 Bq/m³, la media de todas las viviendas fue de 41,6 Bq/m³ (Canoba, A.C. y López, 2006).

Humidificación y deshumidificación del aire

Continuando con las funciones de una instalación de aire acondicionado, la humedad del aire en los interiores, ejerce una influencia significativa en el bienestar de los habitantes, aunque suele pasar inadvertida para el común de las personas (Minke, 2001).

Se conoce que una humedad relativa menor a 40% durante un largo periodo, puede resecar las mucosas. Normalmente las mucosas del epitelio de la tráquea absorben polvo, bacterias, virus, etc. Y los restituyen a la boca, mediante el movimiento ondulatorio de los vellos del epitelio. Si este sistema de absorción y transporte se interrumpe por resecamiento, estos cuerpos ajenos alcanzan los pulmones provocando enfermedades (Minke, 2001).

Una humedad relativa de 50% a 70% tiene muchas influencias positivas: reduce el contenido de polvo fino en el aire, activa los mecanismos de protección de la piel contra los microbios, disminuye la vida de muchas bacterias y virus, y disminuye los olores y la electricidad estática en las superficies de objetos (Minke, 2001).

Una humedad relativa de más de 70% resulta en la mayoría de los casos desagradable, debido a la disminución en la absorción de oxígeno de la sangre, en condiciones cálidas húmedas. Se observan incrementos en las dolencias reumáticas, en ambientes fríos y húmedos (Minke, 2001). El crecimiento de hongos en espacios cerrados, se incrementa cuando la humedad alcanza más de 70 o 80%. El aire interior húmedo, puede indicar que no hay suficiente ventilación, para dispersar la humedad generada por actividades en el interior como cocinar y bañarse.

A partir de estas consideraciones, se puede establecer que el contenido de humedad en un ambiente interior, no debe ser menor a 40% ni mayor a 70%.

Refrigeración y calefacción

Existe evidencia de que los períodos de frío, se asocian con una mayor mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular. La mortalidad invernal es mayor en los países con climas más suaves, que en los que prevalecen condiciones invernales más severas, en parte porque los países con inviernos suaves a menudo tienen viviendas con eficiencia térmica deficiente (Organización Mundial de la Salud, 2018a).

El aire frío inflama los pulmones e inhibe la circulación, lo que aumenta el riesgo de afecciones respiratorias, como empeoramiento de asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) e infección. El frío también induce vasoconstricción, lo que provoca estrés en el sistema circulatorio, lo cual puede provocar cardiopatía isquémica, cardiopatía coronaria, accidentes cerebrovasculares, hemorragia subaracnoidea y muerte (Organización Mundial de la Salud, 2018a). En Argentina no hay estadísticas oficiales sobre muertes de personas en situación de calle, pero cada año los diarios anuncian más de una.

El interés de la salud pública por los efectos del calor en la salud ha aumentado, debido a la creciente frecuencia y duración de las olas de calor en todos los continentes, asociadas a un significativo aumento de la mortalidad cardiovascular y por todas las causas. Entre el periodo comprendido entre 2000 y 2004 y el que abarca de 2017 a 2021, la mortalidad relacionada con el calor en las personas mayores de 65 años, se incrementó en alrededor de un 85% (Organización Mundial de la Salud, 2018a).

La mejora de las condiciones de vivienda puede salvar vidas, prevenir enfermedades, reducir la dependencia con el aire acondicionado, que refuerza las desigualdades al exacerbar el ruido y el calor urbano, y aumentar la calidad de vida. Los patrones climáticos cambiantes, subrayan la importancia de que la vivienda brinde protección contra el frío, el calor y otros fenómenos meteorológicos extremos para promover comunidades resilientes (Organización Mundial de la Salud, 2018b).

Análisis de condiciones, antecedentes y selección de estrategias

Retomando lo planteado por Quadri (2014) y en el marco de la construcción de un pozo canadiense, se analiza el cumplimiento de las cuatro funciones analizadas.

Los pozos canadienses son un excelente método para ventilar los hogares, ya que ofrecen aire exterior filtrado y con acondicionamiento térmico. Sobre el sistema mecánico de impulsión, para una vivienda, es suficiente con la colocación de un ventilador que mantenga el caudal constante. El sistema de distribución del aire se dimensiona de igual manera que un edificio convencional con ventilación mecánica.

La función de refrigeración y calefacción de un pozo canadiense queda cubierta colocando una longitud apropiada de tuberías para el intercambio de calor. Pueden encontrarse varios artículos con metodologías similares para realizar este cálculo, como el de Conteras Muñoz, Martín Díaz o Birche

et. al. (Contreras Muñoz, 2021) (Martín Díaz, 2018) (Birche et al., 2024). En caso de no alcanzar las temperaturas de confort (especialmente en invierno) se puede suplementar con equipos de calefacción tradicionales.

Respecto a la humedad, se conoce que el pozo canadiense produce agua de condensación en verano, especialmente en emplazamientos en climas húmedos. Este comportamiento deberá tenerse en cuenta para el diseño del drenaje, y del protocolo de mantenimiento de la instalación. El diagrama psicrométrico es una herramienta útil, para relacionar variables del aire húmedo en procesos de enfriamiento o calentamiento. Existen diferentes procesos, como el enfriamiento sensible, evaporativo, con condensación y con evaporación. Conociendo la temperatura y humedad relativa del aire de entrada, la temperatura de la pared del pozo, la temperatura de salida del aire y suponiendo que el aire alcanza la saturación completa, puede obtenerse la cantidad de agua condensada del sistema utilizando el diagrama psicrométrico. Lo que resulta claro es que el aire de salida del pozo, tendrá una humedad absoluta menor luego de la condensación.

Respecto al filtrado, la torre de aspiración cuenta con filtros que minimizan el paso de partículas. Debe ubicarse por lo menos a 1,5 metros sobre el nivel del suelo para evitar el ingreso de gas radón y reducir al mínimo la entrada de polvo. También impide el ingreso de animales. La torre debe estar protegida de la incidencia de la radiación solar, ya que induciría un movimiento del aire contrario al deseado (Martín Díaz, 2018). Los puntos de captación del aire exterior, deben ser seleccionados con sumo cuidado para lograr el máximo de pureza, evitando cocinas, baños, garajes, etc.

El aire tampoco debe degradarse dentro de las tuberías de la instalación. ¿Es posible que proliferen hongos, bacterias o que se acumule polvo u otros contaminantes en el intercambiador de calor? ¿Cómo se soluciona?

Es habitual que edificios con sistema de ventilación centralizado, no reciban mantenimiento y limpieza en los conductos, lo cual perjudica la calidad del aire por la proliferación de contaminantes biológicos (mohos, bacterias) y acumulación de polvo. En los intercambiadores de calor de este sistema ocurre lo mismo, por lo cual se debe prever un mantenimiento y diseño adecuado. Respecto al diseño, en primer lugar, el drenaje debe permitir la expulsión de condensados y evitar el ingreso de aire. Por otro lado, las tuberías deben estar unidas herméticamente, para evitar el ingreso de aire o agua no deseada al sistema. Además, el intercambiador de calor debe ser de un material adecuado, donde las bacterias y hongos proliferen lo menos posible. Debe preverse el acceso para el mantenimiento, y diseñarse un protocolo de mantenimiento de acuerdo a la concentración de contaminantes en el

material elegido para la tubería. El tubo intercambiador de calor además debe contar con la resistencia para soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

¿Qué opciones existen para resolver estos requerimientos en el mercado argentino?

Existen tres antecedentes destacables en Argentina, que resuelven el intercambiador de calor de manera diferente.

En uno de ellos, (Iannelli y Gil, 2013) se realizó una experiencia de campo en una casa ubicada en Tortuguitas, Provincia de Buenos Aires, denominada CasaE. Esta casa, de propiedad de la empresa BASF, cuenta con un intercambiador de calor, materializado con tubos de polipropileno de la marca REHAU. Los tubos REHAU diseñados específicamente para su uso como conducto de aire para instalación enterrada, cumplen los requisitos de las normas y estándares europeos (Norma VDI 6022, DIN 1946 y norma VDI 4640) (REHAU, 2022). Se caracterizan por la utilización de tipos de polímeros especiales con una conductividad térmica mejorada, una superficie interior lisa y antimicrobiana (que evita la proliferación de hongos y bacterias), un sistema de estanquización especial, un equilibrio especialmente bueno entre resistencia al impacto y elevada rigidez, una alta resistencia química y a la abrasión. La capa antimicrobiana está formada por un compuesto inorgánico de plata. El efecto de la capa antimicrobiana se limita a la pared del tubo; no se combaten las bacterias ni las esporas de hongos presentes en el aire. Los iones de plata sólo despliegan su efecto, en estructuras celulares simples. La biocompatibilidad ha sido ensayada con éxito según la norma ISO 10993. La marca se encuentra en Argentina, pero no comercializa los tubos en este país.

Otro antecedente de pozos canadienses en Argentina, es el del Foro de Viviendas, Sustentabilidad y Energía, con apoyo de la embajada de Alemania, en Bariloche (FOVISEE, 2017). Respecto a este, en las entrevistas se menciona que utilizaron tubos REHAU y que se realizaron mediciones, pero no se encuentran artículos con los resultados de la experiencia. Es decir, que resuelven el intercambiador de calor de la misma manera que el caso anterior recurriendo a tubos importados especiales para este fin.

Existe otro antecedente en Argentina donde se construye un pozo canadiense en una vivienda en Olivos, provincia de Buenos Aires (Sticco et al., 2018). A diferencia de los casos anteriores, materializan los tubos del intercambiador de calor, con PVC nacional. Térmicamente el sistema logra bajar más de cinco grados la temperatura durante el verano, pero no hay datos respecto a los condensados, mantenimiento o proliferación de microorganismos.

En España, numerosos antecedentes como el de Díaz, muestran que el material utilizado son los tubos especiales de REHAU (Martín Díaz, 2018).

Estos antecedentes, marcan dos caminos para resolver el intercambiador de calor: Utilizar materiales importados de difícil acceso, o utilizar materiales nacionales como los tubos de PVC, con un mantenimiento de frecuencia adecuada, que permita mantener los microorganismos en rangos aceptables para una adecuada calidad del aire.

Todos los antecedentes mencionados recurrieron a tuberías plásticas. ¿Existen otros materiales apropiados para este sistema? De acuerdo con lo analizado por el Arq. Julián Carelli y la Ing. Belén Birche para llevar a cabo la construcción de un pozo canadiense en City Bell, tanto el acero como el hormigón son materiales muy pesados para trabajar en obra y para trasladar. El plástico, a pesar de tener peor conductividad térmica, es un material que facilita el mantenimiento, el transporte, la colocación en obra, las uniones, y estructuralmente resiste los esfuerzos con un pequeño espesor (lo que es bueno para la conductividad térmica). Además, el hormigón es un material poroso, que dificulta la limpieza y favorece la proliferación de microorganismos. El acero inoxidable económicamente no es conveniente.

Otra opción es colocar filtros absolutos antes de la entrada de aire a la vivienda, que pudieran retener cualquier microorganismo que se produzca en el intercambiador de calor. Esta opción no es económicamente viable y energéticamente es ineficiente, ya que los filtros absolutos requieren de importantes sistemas de impulsión, para lograr que el aire venza la caída de presión de los filtros.

Por lo tanto, considerando todos estos aspectos, la utilización de tubos de PVC nacionales, pareciera ser la mejor opción para materializar los intercambiadores de calor en Argentina actualmente. A continuación, se describirán algunos métodos de limpieza que podrían prevenir la proliferación de microorganismos, los cuales también se utilizan en los intercambiadores de calor realizados con tubos REHAU. Resta por investigar la frecuencia con la que deberá realizarse en estas condiciones para mantener una adecuada calidad del aire.

Métodos de limpieza del intercambiador de calor

Los métodos de limpieza de conductos de ventilación, y de sistemas de evacuación habituales en el mercado, se pueden utilizar también para la limpieza de los sistemas de ventilación enterrados. Debe tenerse en cuenta que, debido a los requisitos especiales derivados de posibles depósitos y de la

formación de condensados, puede ser necesario realizar adaptaciones. Según la VDI 6022, la limpieza con agua a alta presión, es preferible a todos los demás métodos de limpieza. Los métodos de limpieza en seco, sólo pueden eliminar la contaminación de forma insuficiente.

Los siguientes métodos han demostrado ser especialmente adecuados (REHAU, 2022).

- Limpieza con agua a alta presión

La limpieza con agua, es muy adecuada para desprender los depósitos y los microorganismos adheridos a los componentes y, al mismo tiempo, arrastrarlos de forma segura. Los parámetros a seleccionar para la limpieza con agua, como la presión en la boquilla y la duración de la limpieza, deben elegirse de forma que se evite ocasionar daños a los componentes. El volumen de agua debe evacuarse de forma segura a través de los drenajes.

- Limpieza con cepillos rotativos

Como alternativa a la limpieza con agua a alta presión, puede limpiarse con cepillos rotativos. Hay que distinguir entre la limpieza en seco y la limpieza con agua. La limpieza en seco, similar a la limpieza de los conductos de aire del edificio, debe realizarse en combinación con un sistema de aspiración, debido a la formación de polvo. Por lo general, se pueden utilizar los mismos cepillos empleados con instalaciones de ventilación. Se introducen en el sistema por el extremo del tubo, o en un registro y se hacen rotar. Las partículas desprendidas, son aspiradas y retiradas al final del sector limpiado. El uso adicional de agua, tiene el efecto positivo de que los depósitos se disuelven mejor. Debido a la limitación de la longitud de limpieza impuesta por el material, es posible que en la planificación, haya que prever registros para introducir los equipos de limpieza.

Conclusiones

Los antecedentes marcan dos caminos, para resolver el intercambiador de calor de un pozo canadiense en Argentina. Utilizar materiales importados, o utilizar tubos de PVC nacionales con un mantenimiento de frecuencia adecuada, que permita mantener la proliferación de microorganismos en rangos aceptables, para una adecuada calidad del aire. Considerando que los tubos REHAU deben importarse, la utilización de tubos plásticos nacionales, pareciera ser la mejor opción para la economía de los clientes, la organización de las obras y para expandir su uso en el mercado nacional. Para evitar la proliferación de microorganismos, deberán seguirse las condiciones de diseño

recomendadas en el desarrollo del presente trabajo. Los diseñadores deberán prever accesos para la limpieza del sistema, especialmente cuando se utilicen tubos sin tratamiento antimicrobiano. Resta por investigar, la frecuencia con la que deberá realizarse el mantenimiento en estas condiciones para asegurar una adecuada calidad del aire. Por otro lado, se evidencia la necesidad de mejorar las normativas a nivel nacional, y guías de diseño para instalaciones de aire acondicionado y calidad del aire en los hogares, además de desarrollar tubos intercambiadores de calor con mejores características en el mercado nacional.

Agradecimientos

A la Arq. Susana Mühlmann, Investigadora del CIHE FADU UBA especializada en Alemania, Escocia y EEUU en sustentabilidad y toxicidades de materiales, por sus correcciones. A la Dra. Arq. Mariana E. Birche por sus correcciones. A la Arq. Soraya Rial, especializada en climatización e instalaciones termomecánicas, por sus comentarios sobre los filtros. A la Dra. Natalia Belloti del CIDEPIINT CIC CONICET UNLP por recibirme en el laboratorio y ofrecerme su valioso punto de vista respecto a tratamientos antimicrobianos.

Referencias

- Alonso, A., Kuchen, E. y Toranzo, E. (2012). Diagnóstico de la calidad del aire en espacios de trabajo en el edificio central de la Universidad Nacional De San Juan, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 65-72.
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. (2012). *Guía técnica: diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-diseno-de-sistemas-de-intercambio-geotermico-de-circuito-cerrado>
- Birche, M. B., Czajkowski, J. D. y Ferrer Tevar, J. A. (15 al 18 de marzo de 2023). *Geotermia de baja entalpía aplicada a una vivienda unifamiliar sustentable en Brandsen: dimensionamiento de intercambiador de calor tierra-aire (pozo canadiense o provenzal)* [ponencia]. IV Congreso de Energías Sustentables de Bahía Blanca. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/12164>

- Briens, F. y Martinez-Gordon, R. (2023). Heating. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heating>
- Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (2024). Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. (2023). CAMMESA. Base de datos del informe anual. <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>
- Canoba, A.C. y López, F. O. (4-8 de septiembre de 2006). *Mediciones de radón 222 en el interior de viviendas de la República Argentina* [Ponencia]. Primer congreso americano de la International Radiation Protection Association. Acapulco, México.
- Center for International Environmental Law. (2023). *Breathing plastic: the health impacts of invisible plastics in the air*. CIEL. <https://www.ciel.org/breathing-plastic-the-health-impacts-of-invisible-plastics-in-the-air/?amp=1>
- Clauser, C. (1997). Geothermal energy use in Germany-status and potential. *Geothermics*, 26(2), 203-220. [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(96\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(96)00040-5)
- Contreras Muñoz, R. A. (2021). *Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica (TUE ALI)*. [Tesis de licenciatura- Universidad de Belgrano]. <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/9632>
- Delmastro, C. y Chen, O. (2023). Buildings. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- Delmastro, C. y Martinez-Gordon, R. (2023). Cooling. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/space-cooling>
- Directrices de vivienda y salud de la OMS. (2018a). Organización Mundial de la Salud.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V. y Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453-458. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>
- El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior. (2024). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volatiles-en-la-calidad-del-aire-interior>
- El radón y sus efectos en la salud. (2 de febrero de 2021). *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

- Geotermia*. (s.f.). FOVISEE. Recuperado el 20 de noviembre de 2025 de <https://fovisee.org/proyectos/energias-renovables-y-vivienda-popular/>
- Gil, J. F., Castillo, P. M., Mangudo, C., Abán Moreyra, D. N., Escalada, A. E. y Copa, G. N. (2020). *Aedes aegypti* en Argentina y su rol como vector de enfermedades. *Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias*, 9(2), 27-44. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/126505>
- Han, X. y Naeher, L. P. (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International*, 32(1), 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.020>
- Iannelli, L. y Gil, S. (2013). *Acondicionamiento térmico de aire mediante el uso de energía geotérmica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23586.27841>
- International Renewable Energy Agency e International Geothermal Association. (2023). *Global geothermal market and technology assessment*. IRENA, IGA. <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-geothermal-market-and-technology-assessment>
- Lawrence Berkeley National Laboratory. (2024). *VOCs and cancer. Indoor Air quality scientific findings resource bank*. <https://iaqscience.lbl.gov/vocs-and-cancer>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J. y Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Llopis Trillo, G. y Rodrigo Angulo, V. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://www.fenercom.com/publicacion/guia-de-la-energia-geotermica-2008/>
- Mahon, H., O'Connor, D., Friedrich, D. y Hughes, B. (2022). A review of thermal energy storage technologies for seasonal loops. *Energy*, 239, 122207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122207>
- Mangia, G. y Cabaleiro, F. (2024). *El plato fumigado 2024. Análisis y sistematización de los resultados de los controles del SENASA sobre la presencia de agrotóxicos en alimentos comercializados en Argentina entre los años 2020 y 2022*. Naturaleza de Derechos, Fundación Cauce.
- Martín Díaz, S. (2018). *El terreno como intercambiador. Enfriamiento pasivo aplicado a un edificio de nueva planta* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/49966/>
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción en tierra*. Fin de Siglo.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. y Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2014.05.028>

- Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. (2 de mayo de 2018). Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Quadri, N. P. (2014) *Instalaciones de aire acondicionado y calefacción* (11.^a ed.). Alsina.
- REHAU. (2022). *AWADUKT THERMO antimicrobiano*. www.rehau.com/downloads/1110034/awadukt-thermo-ventilación-ecoeiciente-información-técnica.pdf
- Sáez, S. (2019). *Evaluación de la calidad del aire interior en relación a los contaminantes biológicos – hongos y mohos - proliferados en Cooperativas de Vivienda de construcción tradicional en Montevideo, Uruguay*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87280>
- Sierra, M. L. A. y Latorre, F. (2020). Diversity, abundance and seasonality of the allergenic airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 55(1), 3-21. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.V55.N1.23094>
- Siete grandes beneficios de los árboles urbanos. (2019). *ONU-Hábitat*. <https://onu-habitat.org/index.php/siete-grandes-beneficios-de-los-arboles-urbanos>
- Sobhani, Z., Lei, Y., Tang, Y., Wu, L., Zhang, X., Naidu, R., Megharaj, M. y Fang, C. (2020). Microplastics generated when opening plastic packaging. *Scientific Reports*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4>
- Soltani, N. S., Taylor, M. P. y Wilson, S. P. (2021). Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust. *Environmental Pollution*, 283, 117064. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117064>
- Sticco, M., Lemos, M. C. y Barredo, S. (22-24 de agosto de 2018). *Aplicación de la energía geotérmica de muy baja entalpía para climatización. Un caso de estudio en la localidad de Olivos, Pcia. de Buenos Aires* [presentación]. 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería - ASAGAI. San Luis, Argentina. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25612.77448>
- Taylor, M. P., Wilson, S. P. y Soltani, N. S. (5 de mayo de 2021). Our homes are full of harmful microplastics. Here's how to minimize the risk. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2021/05/microplastics-home-health-climate-change-risk/>
- Vinkesteyn, J. y Zamora, J. V. (2014). Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Comunidad de Madrid, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

