

Cálculos relacionados con la norma IRAM 11603

Nota Técnica SMN 2024-180

Carolina González¹, Mercedes Poggi², Lorena Ferreira¹ y María de los Milagros Skansi²

¹ *Dirección de Servicios Sectoriales, Servicio Meteorológico Nacional*

² *Dirección Central del Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional*

Septiembre 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen:

Entre las normas técnicas establecidas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), existen varias referidas al acondicionamiento térmico en la construcción de viviendas. En particular, la norma IRAM 11603 concierne al acondicionamiento térmico de edificios y a la clasificación bioambiental de la Argentina, e incluye ciertas definiciones y umbrales térmicos que están en debate y discusión. Se destacan las definiciones de las temperaturas de diseño, que corresponden al percentil 1 o 99 de las temperaturas mínimas o máximas diarias de invierno o verano, respectivamente. Al calcularse a partir de valores extremos de percentiles, generan limitaciones para diversos estudios y aplicaciones. En el presente trabajo se presentan los análisis elaborados por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina asociados a la norma IRAM 11603, a los umbrales térmicos y a la clasificación bioambiental. Los resultados hallados pueden resultar de utilidad para futuros debates y/o próximas revisiones de la norma.

Abstract:

Among the technical standards established by the Argentine Standardization and Certification Institute (IRAM), there are several related to thermal conditioning in residential construction. In particular, the IRAM 11603 standard concerns the thermal conditioning of buildings and the bioenvironmental classification of Argentina, and it includes certain definitions and thermal thresholds that are under debate and discussion. The definitions of design temperatures, which correspond to the 1st or 99th percentile of the minimum or maximum daily winter or summer temperatures, respectively, stand out. As they are calculated from extreme percentile values, they generate limitations for several studies and applications. In this work, the analyses conducted by the National Weather Service of Argentina associated with the IRAM 11603 standard, thermal thresholds, and bioenvironmental classification are presented. The results found may be useful for future debates and/or upcoming revisions of the standard.

Palabras claves: Umbrales térmicos, temperaturas de diseño, clasificación bioambiental, IRAM.

Citar como: González C., M. Poggi, L. Ferreira y M.M.Skansi, 2024: Cálculos relacionados con la norma IRAM 11603. Nota Técnica SMN 2024-180.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) es una asociación civil sin fines de lucro referente en el ámbito nacional, regional e internacional. Sus finalidades específicas, en su carácter de Organismo Argentino de Normalización, consisten en establecer normas técnicas (conocidas como normas IRAM), ofrecer servicios para certificar su cumplimiento, brindar capacitaciones, entre otras. Además, el IRAM promueve las actividades de certificación de productos, a través de las cuales se verifica si un determinado producto cumple con los requisitos definidos en una norma aplicable para brindarle seguridad al consumidor. Una mayor información del organismo se puede encontrar en su página web, en el siguiente enlace: <https://www.iram.org.ar/>.

Entre las normas IRAM, existen varias referidas al acondicionamiento térmico en la construcción de viviendas. Se destacan las normas IRAM 11601 (2002), IRAM 11603 (2012), IRAM 11604 (2001), IRAM 11605 (1996), IRAM 11625 (2000) y IRAM 11630 (2000). Éstas tienen como finalidad establecer parámetros de cálculo según las características climáticas del lugar del proyecto, generando así construcciones más eficientes. En particular, la norma IRAM 11603 corresponde al acondicionamiento térmico de edificios y a la clasificación bioambiental de la Argentina. Entre sus objetivos se incluyen:

- Establecer la zonificación de la República Argentina de acuerdo a un criterio bioambiental, indicando las características climáticas de cada zona.
- Indicar, para cada zona, las pautas generales para el diseño, la evaluación de las orientaciones favorables y el cumplimiento del asoleamiento mínimo de los edificios de viviendas. La caracterización de los microclimas y su evaluación se establecen desde el punto de vista del acondicionamiento térmico de edificios.

Para el desarrollo de dicha norma fue necesario establecer ciertas definiciones, como las de las temperaturas de diseño, que involucraron información meteorológica o climática. Toda esta información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En particular, el SMN proveyó de datos climáticos de temperatura, heliofanía, viento, humedad y precipitación, entre otros, de estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del país.

El SMN no solo brindó información meteorológica para cálculos específicos, sino que también elaboró estudios sobre la norma IRAM 11603, los umbrales térmicos y la clasificación bioambiental allí presentadas. El presente trabajo es una recopilación de los estudios realizados a lo largo de los años. Cabe destacar que, en cada uno de los estudios recopilados, la cantidad de estaciones meteorológicas y el período de análisis considerados varían, ya que estos fueron realizados en diferentes años y por distintas personas, sin seguir una guía específica y con un enfoque totalmente exploratorio. En el futuro, los resultados aquí presentados podrían ser de interés y utilidad para la definición de nuevos parámetros que permitan un acondicionamiento térmico de viviendas más eficiente.

2. COMPARACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE DISEÑO CON OTROS UMBRALES TÉRMICOS

Las temperaturas de diseño, según lo establecido por la norma IRAM 11603, se definen como el percentil 1 o 99 de las temperaturas mínimas o máximas diarias del período de invierno (mayo, junio, julio y agosto) o verano (diciembre, enero, febrero y marzo), respectivamente. Estas definiciones, sin embargo, no son estáticas y son frecuentemente discutidas, por lo que podrían modificarse en el futuro. Por ello, considerar otros umbrales térmicos que resulten más representativos, ya sean más o menos estrictos, podría ser útil para las próximas revisiones de dicha norma.

El SMN abordó esta temática y comparó las temperaturas de diseño con otros umbrales térmicos basados en registros tanto diarios como horarios, considerando diferentes medidas de posición de las distribuciones e intervalos de tiempo. La adopción de datos horarios surgió de propuestas que sugirieron definir las temperaturas de diseño utilizando información horaria en lugar de datos diarios. Esto representa un desafío, dado que las estaciones meteorológicas tienen distintos planes de labor, y no todas realizan mediciones cada hora. Otras presentan registros horarios incompletos o con interrupciones en ciertos intervalos de tiempo.

2.1 Comparación de umbrales térmicos basados solo en temperaturas diarias

Período 1981-2018 vs 2009-2019

Para llevar a cabo la comparación de umbrales térmicos basados en datos diarios, se seleccionaron 69 estaciones meteorológicas y se calcularon los percentiles 1, 5 y 8 de las temperaturas mínimas para los meses de invierno, así como los percentiles 92, 95 y 99 de las temperaturas máximas para los meses de verano. Se consideraron dos períodos diferentes, de 38 y 11 años: 1981-2018 y 2009-2019. En la Tabla 1 se presentan los resultados correspondientes a las temperaturas mínimas diarias de las estaciones Jujuy Aero, Las Lomitas, Aeroparque Buenos Aires, Coronel Suárez Aero y Comodoro Rivadavia Aero.

Tabla 1: Percentiles 1, 5, y 8 de las temperaturas mínimas diarias de invierno (en °C) para las estaciones meteorológicas Jujuy Aero, Las Lomitas, Aeroparque Buenos Aires, Coronel Suárez Aero y Comodoro Rivadavia Aero. Se consideraron dos períodos de tiempo diferentes. El período de 38 años abarca desde el 01/05/1981 hasta el 31/08/2018, mientras que el de 11 años se extiende desde el 01/05/2009 hasta el 31/08/2019.

| Período | Estación | Percentil 1 (°C) <i>Temperatura de diseño según la definición actual</i> | Percentil 5 (°C) | Percentil 8 (°C) |
|-----------|-------------------------------|--|---------------------|---------------------|
| 1981-2018 | Jujuy Aero | -1.9 | 0.6 | 1.6 |
| 2009-2019 | | -1.7 | 0.5 | 1.7 |
| 1981-2018 | Las Lomitas | -1.9 | 1.8 | 3.1 |
| 2009-2019 | | 0.2 | 3.6 | 5 |
| 1981-2018 | Aeroparque Buenos Aires | 1.9 | 3.7 | 4.6 |
| 2009-2019 | | 2.5 | 4.5 | 5 |
| 1981-2018 | Coronel Suárez Aero | -7.7 | -5.5 | -4.5 |
| 2009-2019 | | -7.4 | -5.3 | -4.3 |
| 1981-2018 | Comodoro Rivadavia Aero | -4.6 | -2.3 | -1.4 |
| 2009-2019 | | -3.8 | -1.6 | -1 |

En Jujuy y Coronel Suárez las diferencias entre los percentiles hallados utilizando ambos períodos fueron pequeñas, con valores entre 0.1°C y 0.3°C. En Aeroparque y Comodoro Rivadavia éstas se encontraron entre los 0.4°C y 0.8°C. Las mayores discrepancias, sin embargo, se observaron en Las Lomitas, de alrededor de 2°C.

Período 1990-2019 versus 2010-2019 y umbrales anuales versus estacionales

Posteriormente, para las mismas 69 estaciones meteorológicas, se compararon los percentiles 5 y 95 de las temperaturas mínimas y máximas diarias, respectivamente, considerando el total de los datos y desagregando la información en los meses de invierno y verano, para dos nuevos períodos: 1990-2019 y 2010-2019. Los resultados de las estaciones Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: *Percentiles 5 y 95 de las temperaturas mínimas diarias y máximas diarias (en °C), respectivamente, para las series anuales, estivales e invernales de las estaciones meteorológicas Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero. Se consideraron dos períodos de tiempo diferentes. El período de 30 años abarca desde el 01/01/1990 hasta el 31/12/2019, mientras que el de 10 años se extiende desde el 01/01/2010 hasta el 31/12/2019. El verano sólo incluye los meses de diciembre a marzo, y el invierno de mayo a agosto.*

| Período | Estación | Percentil 5 (°C) | | Percentil 95 (°C) | |
|-----------|-------------------------|------------------|----------|-------------------|--------|
| | | Anual | Invierno | Anual | Verano |
| 1990-2019 | Aeroparque Buenos Aires | 5.8 | 3.9 | 30.5 | 32.2 |
| 2010-2019 | | 6.5 | 4.5 | 31.2 | 33 |
| 1990-2019 | Resistencia Aero | 3.5 | 1 | 36.7 | 38 |
| 2010-2019 | | 4.2 | 1 | 37 | 38.3 |

Se observaron discordancias al utilizar distintos períodos y al considerar el año completo o sólo una estación. En Aeroparque, los percentiles estacionales difirieron entre 0.6°C y 0.8°C según si se empleaba series de 10 años o 30 años. En Resistencia, el rango de los valores fue de entre 0°C y 0.6°C. En ambas estaciones, las menores discrepancias entre las series anuales y estacionales se vieron en el período 1990-2019. En Aeroparque, las diferencias anuales-estacionales se encontraron entre 1.7°C y 1.9°C para el período de 30 años, y entre 1.8°C y 2°C para el período de 10 años. En Resistencia, por su parte, las discrepancias entre las series anuales y estacionales fueron de entre 1.3°C y 2.5°C para el intervalo 1990-2019, y de entre 1.3°C y 3.1°C para el 2010-2019.

2.2 Comparación de umbrales térmicos basados en temperaturas diarias y horarias

Período 1981-2018

Se eligieron las estaciones Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero, que miden temperatura cada hora, a fin de realizar comparaciones entre umbrales basados en datos diarios y horarios. Para ambas se calcularon, por un lado, el percentil 1 de todos los datos horarios y, por otro, el percentil 2.5 de los registros horarios de los meses de invierno. Los resultados se compararon con los percentiles 1, 5 y 8 de las temperaturas mínimas diarias invernales. El período considerado fue 1981-2018. Los valores hallados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Percentiles 1 y 2.5 de las temperaturas horarias anuales e invernales (en °C), respectivamente; y percentiles 1, 5, y 8 de las temperaturas mínimas diarias ($T_{mín. diarias}$) de invierno (en °C) para las estaciones meteorológicas Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero. El período total abarca desde el 01/01/1981 hasta el 31/12/2018. El invierno sólo incluye los meses de mayo a agosto.

| | Percentiles | Aeroparque Buenos Aires | Resistencia Aero |
|---|--|----------------------------|------------------|
| Temperaturas horarias anuales (°C) | 1 | 5.6 | 3.8 |
| Temperaturas horarias de invierno (°C) | 2.5 | 5.4 | 3.5 |
| Temperaturas mínimas diarias de invierno (°C) | 1 <i>Temperatura de diseño según la definición actual</i> | 1.9 | 0.8 |
| | 5 | 3.7 | 3.9 |
| | 8 | 4.6 | 5.0 |

Para ambas estaciones, los percentiles obtenidos a partir de las temperaturas horarias anuales y estacionales fueron similares, con diferencias de 0.2°C en Aeroparque y de 0.3°C en Resistencia. Los resultados, a su vez, fueron comparables con el percentil 8 y el percentil 5 de las temperaturas mínimas diarias de invierno de Aeroparque y Resistencia, respectivamente. Para Aeroparque, el percentil 12 de las mínimas diarias se asemejó aún más a los percentiles de los datos horarios (no se muestra).

Para las mismas estaciones, se realizó un análisis comparativo entre el comportamiento de los registros diarios y horarios de temperatura, para el mes de julio de 2019. Los resultados se presentan en el Anexo 1.

2.3 Equivalencias entre percentiles de temperaturas horaria y diaria

Se analizaron las equivalencias entre percentiles de observaciones diarias y horarios, considerando el período de 2000 a 2019. Para 90 estaciones meteorológicas y el período estival, se calcularon las equivalencias de los percentiles 99 de las temperaturas horarias en los percentiles de las temperaturas máximas diarias. Se realizaron cuentas análogas para el invierno, pero utilizando los percentiles 1 de los datos horarios y las temperaturas mínimas diarias. Cabe destacar que, entre las 90 estaciones consideradas, no todas poseen registros completos en el total de sus horas, por lo que la cantidad de datos faltantes debe ser tenida en cuenta a la hora de formular conclusiones. Para subsanar esto y poder definir umbrales de diseño basados en registros horarios, se consideró la alternativa de rellenar, en caso de ser posible, las series horarias incompletas de las estaciones meteorológicas a partir de un método estadístico y/o utilizando la información de la estación más cercana o de reanálisis. Los procedimientos explorados se detallan en el Anexo 2.

En la Tabla 4 y la Tabla 5 se presentan los resultados para el verano e invierno, respectivamente, de las siguientes estaciones: Salta Aero, Santiago del Estero Aero, Resistencia Aero, Catamarca Aero, San Juan Aero, Sauce Viejo Aero, Mendoza Aero, San Luis Aero, Aeroparque Buenos Aires, Buenos Aires y Trelew. Todas ellas tienen un bajo porcentaje de observaciones faltantes.

Tabla 4: Para el verano, equivalencias de los percentiles 99 de las temperaturas horarias en los percentiles de las temperaturas máximas diarias, junto con la cantidad disponible y faltante de datos diarios y horarios en el período 01/12/2000-31/03/2019. Se presentan los resultados de Salta Aero, Santiago del Estero Aero, Resistencia Aero, Catamarca Aero, San Juan Aero, Sauce Viejo Aero, Mendoza Aero, San Luis Aero, Aeroparque Buenos Aires, Buenos Aires y Trelew.

| Estación | Percentil 99 de temperaturas horarias (°C) | Cantidad de datos de temperaturas horarias | Cantidad de datos faltantes de temperaturas horarias | Equivalencia en percentil de temperaturas máximas diarias | Cantidad de datos de temperaturas máximas diarias | Cantidad de datos faltantes de temperaturas máximas diarias |
|--------------------------|--|--|--|---|---|---|
| Salta Aero | 31.6 | 55271 | 1 | P90 | 2303 | 0 |
| Santiago del Estero Aero | 39.4 | 54729 | 543 | P92 | 2302 | 1 |
| Resistencia Aero | 37.1 | 55269 | 3 | P90 | 2302 | 1 |
| Catamarca Aero | 38.8 | 51785 | 3487 | P91 | 2181 | 122 |
| San Juan Aero | 38.6 | 55270 | 2 | P91 | 2303 | 0 |
| Sauce Viejo Aero | 35.7 | 55270 | 2 | P93 | 2276 | 27 |
| Mendoza Aero | 36.1 | 55271 | 1 | P90 | 2174 | 129 |
| San Luis Aero | 35.5 | 52635 | 2637 | P91 | 2229 | 74 |
| Aeroparque Buenos Aires | 32 | 55271 | 1 | P93 | 2303 | 0 |
| Buenos Aires | 34 | 55271 | 1 | P92 | 2303 | 0 |
| Trelew Aero | 34.8 | 53925 | 1347 | P92 | 1950 | 353 |

Tabla 5: Para el invierno, equivalencias de los percentiles 1 de las temperaturas horarias en los percentiles de las temperaturas mínimas diarias, junto con la cantidad disponible y faltante de datos diarios y horarios en el período el 01/05/2000-31/08/2019. Se presentan los resultados de Salta Aero, Santiago del Estero Aero, Resistencia Aero, Catamarca Aero, San Juan Aero, Sauce Viejo Aero, Mendoza Aero, San Luis Aero, Aeroparque Buenos Aires, Buenos Aires y Trelew.

| Estación | Percentil 1 de temperaturas horarias (°C) | Cantidad de datos de temperaturas horarias | Cantidad de datos faltantes de temperaturas horarias | Equivalencia en percentil de temperaturas mínimas diarias | Cantidad de datos de temperaturas mínimas diarias | Cantidad de datos faltantes de temperaturas mínimas diarias |
|--------------------------|---|--|--|---|---|---|
| Salta Aero | -1.3 | 59035 | 5 | P8 | 2460 | 0 |
| Santiago del Estero Aero | -1.4 | 58184 | 856 | P8 | 2460 | 0 |
| Resistencia Aero | 1.6 | 59040 | 0 | P6 | 2460 | 0 |
| Catamarca | 1.3 | 56779 | 2261 | P11 | 2403 | 57 |

| Aero | | | | | | |
|-------------------------|------|-------|------|-----|------|-----|
| San Juan Aero | -2.2 | 59040 | 0 | P12 | 2460 | 0 |
| Sauce Viejo Aero | 0.5 | 59039 | 1 | P7 | 2459 | 1 |
| Mendoza Aero | -0.6 | 59028 | 12 | P10 | 2460 | 0 |
| San Luis Aero | 0.1 | 56920 | 2120 | P6 | 2394 | 66 |
| Aeroparque Buenos Aires | 4.5 | 59038 | 2 | P7 | 2460 | 0 |
| Buenos Aires | 2.7 | 59040 | 0 | P6 | 2460 | 0 |
| Trelew Aero | -3.6 | 58807 | 233 | P10 | 2199 | 261 |

Para el verano, los percentiles 99 de las temperaturas horarias se correspondieron con los percentiles 90 a 93 de las temperaturas máximas diarias. Por el contrario, para el invierno, los percentiles 8 a 12 de las temperaturas mínimas diarias fueron equiparables a los percentiles 1 de las temperaturas horarias. Resultados similares se encontraron para el resto de las estaciones (no se muestran). Más aún, los percentiles 92 y 7 de las máximas y mínimas diarias, respectivamente, fueron los más frecuentes al considerar el total de las equivalencias de las 90 estaciones meteorológicas.

Si se quiere definir umbrales térmicos a partir de mediciones horarias, lo anteriormente hallado puede resultar de utilidad para aquellas estaciones meteorológicas que no realizan registros horarios o que lo hacen pero de manera discontinua. Según las equivalencias encontradas, emplear percentiles no tan extremos de temperaturas máximas y mínimas diarias permitiría obtener umbrales similares a los que se alcanzarían si se utilizaran datos horarios.

3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA Y PERSISTENCIA DE EVENTOS CÁLIDOS Y FRÍOS DIARIOS

Se realizó un análisis en 59 estaciones meteorológicas para determinar la cantidad y duración de los eventos de verano e invierno en los cuales las temperaturas extremas diarias superaron su temperatura de diseño correspondiente, según la definición actual. La hipótesis subyacente es que hay pocos eventos, tanto de verano como de invierno, que cumplen con estas condiciones, dando cuenta de índices de temperaturas de diseño muy extremos. Se consideraron eventos ocurridos entre 2000 y 2019, mientras que las temperaturas de diseño se calcularon en función del período 1981-2018.

3.1 Eventos cálidos diarios de verano

Se calcularon la frecuencia y persistencia de los eventos cálidos diarios de verano, definidos como los días de verano cuyas temperaturas máximas diarias superaron su correspondiente temperatura de diseño. Con el objetivo de distinguir la ocurrencia de dichos eventos, en la Figura 1 se presentan las series temporales de los máximos diarios de temperatura de los meses diciembre a marzo para Aeroparque Buenos Aires (izquierda) y Resistencia Aero (derecha), junto con el límite dado por la temperatura de diseño. Las series se extienden desde el 01/12/2000 hasta el 31/03/2019 para ambos sitios. Como las temperaturas de diseño fueron calculadas en función de otro período de tiempo, éstas no corresponden al percentil 99 de los datos diarios representados.

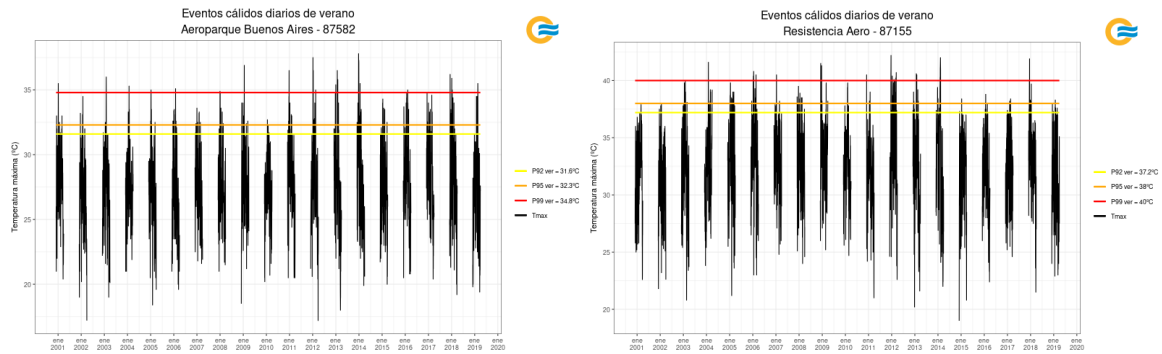


Figura 1: Series temporales de temperatura máxima diaria (en °C) de verano (líneas negras) para Aeroparque Buenos Aires (izquierda) y Resistencia Aero (derecha) en el período 01/12/2000-31/03/2019, junto con los umbrales determinados por las temperaturas de diseño de verano (líneas rojas), calculados según el período 1981-2018. Hay otros umbrales térmicos representados, definidos por los percentiles 95 (líneas naranjas) y 92 (líneas amarillas) de los temperaturas máximas diarias estivales del período 1981-2018.

Para Aeroparque se observa que las temperaturas máximas de verano no superaron el valor límite de 34.8°C en los años 2002, 2007, 2010, 2015 y 2017. Para Resistencia, en cambio, en los veranos del 2001, 2002, 2003, 2005, 2008, 2010, 2015, 2016, 2017 y 2020 no se registraron eventos cálidos según el umbral de 40°C.

En la Tabla 6 y Tabla 7 se listan y caracterizan los eventos cálidos de verano para la estación Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero, respectivamente.

Tabla 6: Eventos cálidos de verano para la estación Aeroparque Buenos Aires, junto con su duración, fecha de inicio, intensidad máxima y fin, y su intensidad máxima y acumulada (en °C) en el período 01/12/2000-31/03/2019. Los eventos y su intensidad fueron definidos en base a las temperaturas de diseño de verano, calculadas según el período 1981-2018.

| Nº evento | Duración | Fecha inicio | Fecha de intensidad máxima | Fecha fin | Intensidad máxima (°C) | Intensidad acumulada (°C) |
|-----------|----------|--------------|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 04/01/2001 | 04/01/2001 | 04/01/2001 | 0.7 | 0.7 |
| 2 | 2 | 30/01/2003 | 31/01/2003 | 31/01/2003 | 1.2 | 1.4 |
| 3 | 1 | 26/01/2004 | 26/01/2004 | 26/01/2004 | 0.5 | 0.5 |
| 4 | 1 | 07/01/2005 | 07/01/2005 | 07/01/2005 | 0.2 | 0.2 |
| 5 | 1 | 29/01/2006 | 29/01/2006 | 29/01/2006 | 0.3 | 0.3 |
| 6 | 1 | 31/12/2007 | 31/12/2007 | 31/12/2007 | 0.1 | 0.1 |
| 7 | 1 | 17/01/2009 | 17/01/2009 | 17/01/2009 | 2.1 | 2.1 |
| 8 | 1 | 25/12/2010 | 25/12/2010 | 25/12/2010 | 1.7 | 1.7 |
| 9 | 1 | 06/01/2012 | 06/01/2012 | 06/01/2012 | 2.7 | 2.7 |
| 10 | 1 | 10/01/2012 | 10/01/2012 | 10/01/2012 | 1.7 | 1.7 |
| 11 | 1 | 18/02/2012 | 18/02/2012 | 18/02/2012 | 0.2 | 0.2 |
| 12 | 1 | 31/12/2012 | 31/12/2012 | 31/12/2012 | 0.6 | 0.6 |
| 13 | 1 | 24/01/2013 | 24/01/2013 | 24/01/2013 | 1.7 | 1.7 |
| 14 | 1 | 01/02/2013 | 01/02/2013 | 01/02/2013 | 1 | 1 |

| | | | | | | |
|----|---|------------|------------|------------|-----|-----|
| 15 | 2 | 25/12/2013 | 26/12/2013 | 26/12/2013 | 3 | 3.3 |
| 16 | 2 | 29/12/2013 | 29/12/2013 | 30/12/2013 | 2.5 | 4.8 |
| 17 | 1 | 18/01/2014 | 18/01/2014 | 18/01/2014 | 0.7 | 0.7 |
| 18 | 1 | 09/02/2016 | 09/02/2016 | 09/02/2016 | 0.2 | 0.2 |
| 19 | 1 | 09/12/2017 | 09/12/2017 | 09/12/2017 | 1.4 | 1.4 |
| 20 | 1 | 04/01/2018 | 04/01/2018 | 04/01/2018 | 1.1 | 1.1 |
| 21 | 1 | 11/01/2018 | 11/01/2018 | 11/01/2018 | 0.2 | 0.2 |
| 22 | 2 | 19/02/2019 | 19/02/2019 | 20/02/2019 | 0.7 | 0.9 |

Tabla 7: Ídem Tabla 6 pero para la estación Resistencia Aero.

| Nº evento | Duración | Fecha inicio | Fecha de intensidad máxima | Fecha fin | Intensidad máxima (°C) | Intensidad acumulada (°C) |
|-----------|----------|--------------|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 30/01/2004 | 31/01/2004 | 31/01/2004 | 1.6 | 1.8 |
| 2 | 1 | 08/01/2006 | 08/01/2006 | 08/01/2006 | 0.1 | 0.1 |
| 3 | 1 | 11/01/2006 | 11/01/2006 | 11/01/2006 | 0.4 | 0.4 |
| 4 | 1 | 15/01/2006 | 15/01/2006 | 15/01/2006 | 0.8 | 0.8 |
| 5 | 1 | 21/02/2006 | 21/02/2006 | 21/02/2006 | 0.5 | 0.5 |
| 6 | 1 | 10/01/2007 | 10/01/2007 | 10/01/2007 | 0.5 | 0.5 |
| 7 | 1 | 08/12/2008 | 08/12/2008 | 08/12/2008 | 1.5 | 1.5 |
| 8 | 1 | 21/12/2008 | 21/12/2008 | 21/12/2008 | 1.3 | 1.3 |
| 9 | 1 | 02/12/2010 | 02/12/2010 | 02/12/2010 | 0.5 | 0.5 |
| 10 | 3 | 20/12/2011 | 22/12/2011 | 22/12/2011 | 2.2 | 3.8 |
| 11 | 2 | 09/01/2012 | 10/01/2012 | 10/01/2012 | 0.4 | 0.6 |
| 12 | 1 | 07/02/2012 | 07/02/2012 | 07/02/2012 | 0.1 | 0.1 |
| 13 | 1 | 07/03/2012 | 07/03/2012 | 07/03/2012 | 0.2 | 0.2 |
| 14 | 1 | 10/03/2012 | 10/03/2012 | 10/03/2012 | 0.3 | 0.3 |
| 15 | 1 | 13/03/2012 | 13/03/2012 | 13/03/2012 | 0.7 | 0.7 |
| 16 | 1 | 24/01/2013 | 24/01/2013 | 24/01/2013 | 0.6 | 0.6 |
| 17 | 1 | 01/02/2013 | 01/02/2013 | 01/02/2013 | 0.5 | 0.5 |
| 18 | 1 | 04/02/2014 | 04/02/2014 | 04/02/2014 | 0.3 | 0.3 |
| 19 | 6 | 06/02/2014 | 09/02/2014 | 11/02/2014 | 2 | 8.1 |
| 20 | 1 | 16/12/2017 | 16/12/2017 | 16/12/2017 | 1.9 | 1.9 |

En Aeroparque la duración de la mayoría de los episodios fue de un día, a excepción de los iniciados el 30/01/2003 y el 19/02/2019, que prevalecieron durante dos días. Para Resistencia, dos eventos tuvieron una duración de 3 o más días. A estos episodios se los definió como eventos cálidos diarios de verano persistentes. En particular, se destaca el iniciado el 06/02/2014, que perduró hasta el 11/02/2014.

3.2 Eventos fríos diarios de invierno

Un análisis análogo se realizó para las temperaturas mínimas de invierno, en pos de calcular la frecuencia y persistencia de los eventos fríos diarios de invierno, definidos ahora como los días cuyas temperaturas mínimas diarias fueron inferiores a su correspondiente temperatura de diseño. En la Figura 2 se presentan las series temporales de los mínimos diarios de temperatura de los meses de mayo a agosto para Aeroparque Buenos Aires (izquierda) y Resistencia Aero (derecha), junto con el umbral dado por su respectiva temperatura de diseño. Las series abarcan desde el 01/05/2000 hasta el 31/08/2020 para ambas estaciones. Las temperaturas de diseño, calculadas en función de otro período, no corresponden al percentil 1 de los datos diarios representados.

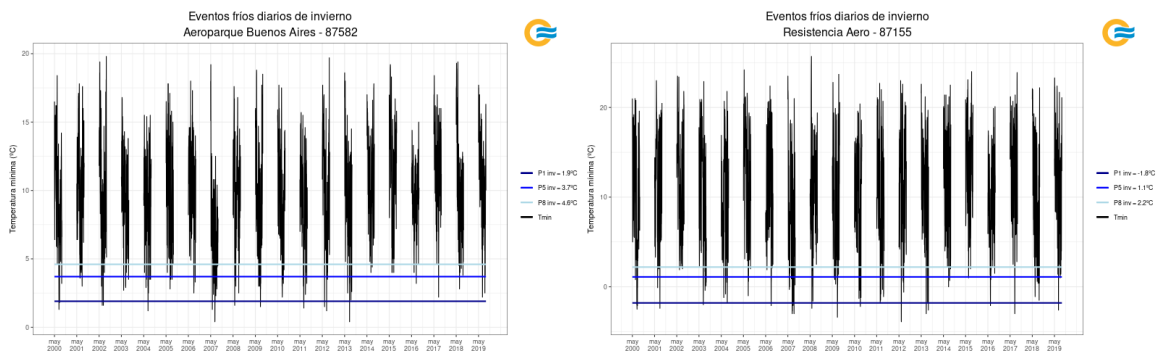


Figura 2: Series temporales de temperatura mínima diaria (en °C) de invierno (líneas negras) para Aeroparque Buenos Aires (izquierda) y Resistencia Aero (derecha) en el período el 01/05/2000-31/08/2019, junto con los umbrales determinados por las temperaturas de diseño de invierno (líneas azules oscuro), calculados según el período 1981-2018. Hay otros umbrales térmicos representados, definidos por los percentiles 5 (líneas azules claro) y 8 (líneas celestes) de los temperaturas mínimas diarias invernales del período 1981-2018.

La estación Aeroparque no registró eventos fríos diarios de invierno en los años 2001, 2003, 2005, 2006, 2010, y entre 2014 y 2019. Resistencia, por su parte, no presentó temperaturas mínimas inferiores al umbral de -1.8°C en los inviernos del 2002, 2004, 2005, 2011, 2014, 2015 y 2018.

En la Tabla 8 y Tabla 9 se enumeran y caracterizan los eventos fríos diarios de invierno para la estación Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero, respectivamente.

Tabla 8: Eventos fríos de invierno para la estación Aeroparque Buenos Aires, junto con su duración, fecha de inicio, intensidad máxima y fin, y su intensidad máxima y acumulada (en °C) en el período del 01/05/2000-31/08/2019. Los eventos y su intensidad fueron definidos en base a las temperaturas de diseño de invierno, calculadas según el período 1981-2018.

| Nº evento | Duración | Fecha inicio | Fecha de intensidad máxima | Fecha fin | Intensidad máxima (°C) | Intensidad acumulada (°C) |
|-----------|----------|--------------|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 14/07/2000 | 14/07/2000 | 14/07/2000 | -0.6 | -0.6 |
| 2 | 1 | 23/07/2000 | 23/07/2000 | 23/07/2000 | -0.1 | -0.1 |
| 3 | 1 | 22/06/2002 | 22/06/2002 | 22/06/2002 | -0.3 | -0.3 |
| 4 | 1 | 10/07/2002 | 10/07/2002 | 10/07/2002 | -0.3 | -0.3 |
| 5 | 1 | 10/07/2004 | 10/07/2004 | 10/07/2004 | -0.7 | -0.7 |
| 6 | 1 | 28/05/2007 | 28/05/2007 | 28/05/2007 | -0.6 | -0.6 |

| | | | | | | |
|----|---|------------|------------|------------|------|------|
| 7 | 2 | 09/07/2007 | 09/07/2007 | 10/07/2007 | -1.5 | -2.9 |
| 8 | 1 | 12/07/2007 | 12/07/2007 | 12/07/2007 | -0.1 | -0.1 |
| 9 | 1 | 29/05/2008 | 29/05/2008 | 29/05/2008 | -0.3 | -0.3 |
| 10 | 1 | 23/07/2009 | 23/07/2009 | 23/07/2009 | -0.4 | -0.4 |
| 11 | 1 | 04/07/2011 | 04/07/2011 | 04/07/2011 | -0.5 | -0.5 |
| 12 | 1 | 07/06/2012 | 07/06/2012 | 07/06/2012 | -0.4 | -0.4 |
| 13 | 1 | 11/07/2012 | 11/07/2012 | 11/07/2012 | -0.7 | -0.7 |
| 14 | 1 | 21/07/2013 | 21/07/2013 | 21/07/2013 | -1.5 | -1.5 |

Tabla 9: Ídem Tabla 8 pero para la estación Resistencia Aero.

| Nº evento | Duración | Fecha inicio | Fecha de intensidad máxima | Fecha fin | Intensidad máxima (°C) | Intensidad acumulada (°C) |
|-----------|----------|--------------|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 13/07/2000 | 13/07/2000 | 13/07/2000 | -0.2 | -0.2 |
| 2 | 2 | 16/07/2000 | 17/07/2000 | 17/07/2000 | -0.7 | -1.1 |
| 3 | 1 | 23/07/2000 | 23/07/2000 | 23/07/2000 | -0.3 | -0.3 |
| 4 | 1 | 28/07/2001 | 28/07/2001 | 28/07/2001 | -0.6 | -0.6 |
| 5 | 1 | 12/07/2003 | 12/07/2003 | 12/07/2003 | -0.2 | -0.2 |
| 6 | 1 | 31/07/2006 | 31/07/2006 | 31/07/2006 | -0.3 | -0.3 |
| 7 | 2 | 11/07/2007 | 12/07/2007 | 12/07/2007 | -1.2 | -2.3 |
| 8 | 1 | 15/07/2007 | 15/07/2007 | 15/07/2007 | -0.9 | -0.9 |
| 9 | 1 | 25/07/2007 | 25/07/2007 | 25/07/2007 | -0.3 | -0.3 |
| 10 | 1 | 05/08/2007 | 05/08/2007 | 05/08/2007 | -0.1 | -0.1 |
| 11 | 1 | 11/08/2007 | 11/08/2007 | 11/08/2007 | -1.2 | -1.2 |
| 12 | 1 | 30/05/2008 | 30/05/2008 | 30/05/2008 | -0.6 | -0.6 |
| 13 | 1 | 24/07/2009 | 24/07/2009 | 24/07/2009 | -1.6 | -1.6 |
| 14 | 2 | 04/08/2010 | 05/08/2010 | 05/08/2010 | -0.4 | -0.6 |
| 15 | 3 | 07/06/2012 | 08/06/2012 | 09/06/2012 | -2.1 | -4.2 |
| 16 | 2 | 23/07/2013 | 23/07/2013 | 24/07/2013 | -1.2 | -1.4 |
| 17 | 1 | 27/08/2013 | 27/08/2013 | 27/08/2013 | -0.8 | -0.8 |
| 18 | 1 | 12/06/2016 | 12/06/2016 | 12/06/2016 | -0.3 | -0.3 |
| 19 | 2 | 18/07/2017 | 18/07/2017 | 19/07/2017 | -1.2 | -1.5 |
| 20 | 1 | 06/07/2019 | 06/07/2019 | 06/07/2019 | -0.8 | -0.8 |

Se observa que Aeroparque no presentó eventos fríos diarios de invierno persistentes, dado que la duración de sus episodios fue menor a tres días. Todos prevalecieron durante un día, a excepción del iniciado el 09/07/2007. Para Resistencia sólo se registró un evento persistente, ocurrido entre el 07/06/2012 y el 09/06/2012.

A modo exploratorio, análisis similares se realizaron considerando otros umbrales térmicos: los percentiles 5 y 8 para las temperaturas mínimas diarias invernales, y los percentiles 95 y 92 para las temperaturas máximas diarias estivales. Estos umbrales fueron calculados no sólo en función del período 1981-2018 sino también del período 1981-2011. También se efectuaron pruebas con datos horarios con percentiles calculados tanto con datos diarios como horarios. Los resultados no se muestran.

4. ANÁLISIS DE MAPAS PARA LOS PERÍODOS FRÍO Y CÁLIDO

Período 2011-2020

En la norma IRAM 11603 se presenta la clasificación bioambiental de Argentina (Figura 3, Figura 1 de la norma IRAM 11603), con una caracterización de las zonas bioambientales allí definidas. Para su establecimiento, se utilizaron datos climáticos correspondientes a 90 estaciones meteorológicas de todo el país, en el período 1980-2009.

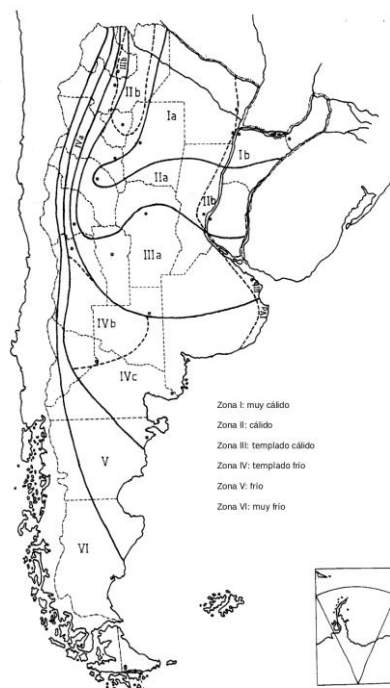


Figura 3: Clasificación bioambiental de la Argentina, según la norma IRAM 11603. Corresponde a la Figura 1 de la norma IRAM 11603.

Dicha clasificación se basó en zonas establecidas para los períodos frío y cálido, definidas a partir de mapas de Argentina en los que se trazaron isolíneas de diversas variables térmicas y se aplicaron distintas metodologías. También se consideraron los mapas de igual amplitud térmica para los meses enero y julio.

Desde el SMN se rehicieron los cálculos y los mapas correspondientes a los períodos frío y cálido, siguiendo las metodologías mencionadas en Bouwcentrum Argentina (1976), para el intervalo de 10 años 2011-2020. Se compararon los resultados con los vigentes de la norma.

4.1 Metodología del período frío

Para el período frío, se consideraron las variables temperatura media y mínima. Se seleccionaron los días del año en los que la temperatura media fue inferior a 14°C y la temperatura mínima fue menor a 9°C. Para estos días, se calculó la diferencia entre 18°C (temperatura deseada para el interior) y la temperatura media exterior. La suma de estas diferencias diarias indicó cuántos grados días se necesitan para calefacción. La metodología documentada, sin embargo, no especifica cómo se obtuvo la temperatura media: si se calculó como el promedio de las temperaturas máximas y mínimas, o a partir de 3 o 4 horarios de observación. Si la temperatura media se calculó a partir de 3 horarios de observación, esta puede no ser representativa a nivel diario debido a una posible sobreestimación. Puede utilizarse para calcular la temperatura media mensual, aplicando una corrección que varía según la estación meteorológica y el mes del año. En cuanto a la temperatura media derivada de 4 horarios de observación, la limitación es que no todas las estaciones de la red del SMN miden a las 03:00, 09:00, 15:00 y 21:00 h, por lo que el número de estaciones a considerar se reduce notablemente. Frente a esto, la temperatura media derivada de los extremos diarios puede ser una alternativa útil, y es empleada en estudios de cambio climático global debido a su simplicidad y disponibilidad (New y otros, 1999). En este análisis se exploraron los tres enfoques:

Temperatura media derivada a partir de 4 horarios de observación: Se seleccionaron 59 estaciones con menos del 30% de datos faltantes.

- Temperatura media derivada de 4 horarios de observación o, si no se cuenta con mediciones a las 03:00 h, de 3 horarios de observación (en este caso, se aplicó la corrección mensual a los datos diarios, a pesar de las incertidumbres que esto conlleva): Se seleccionaron 105 estaciones con menos del 30% de datos faltantes.
- Temperatura media derivada de los extremos diarios: Se seleccionaron 105 estaciones con menos del 30% de datos faltantes.

Los mapas de áreas de grados días obtenidos a partir de los tres enfoques, junto con el mapa vigente de la norma IRAM 11603, se presentan en la Figura 4.

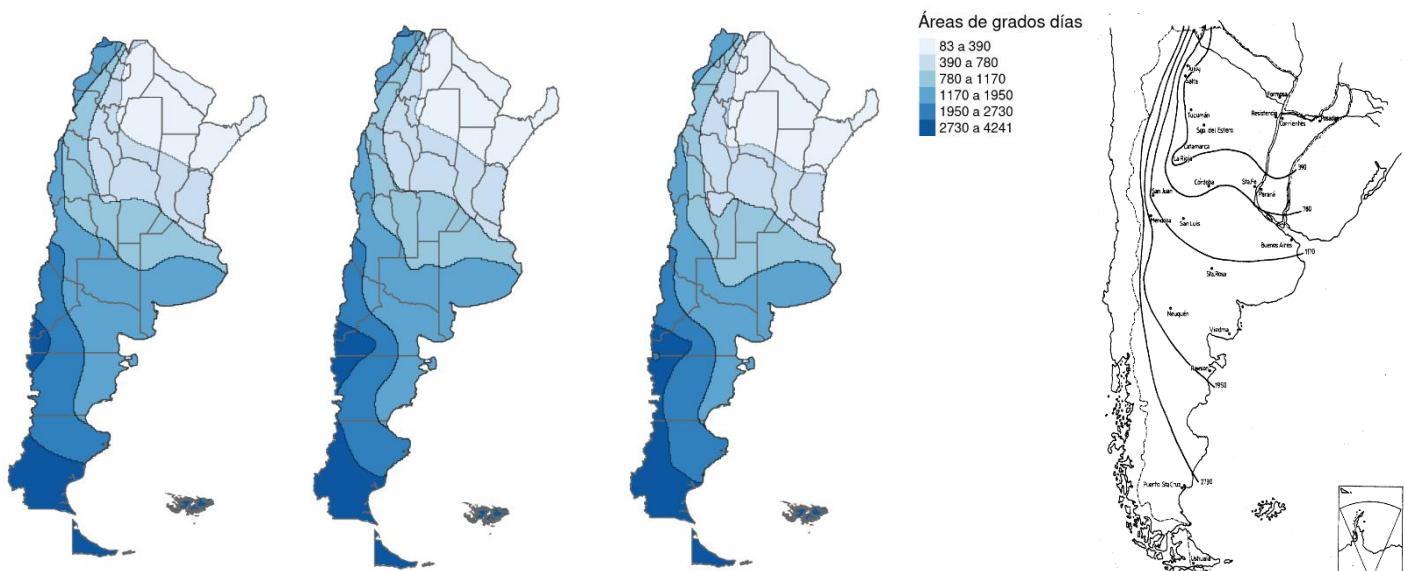


Figura 4: Mapa de áreas de grados días del período frío considerando la temperatura media diaria derivada de 4 horarios de observación (izq.), de 4 o 3 horarios de observación con corrección (centro izq.) y de extremos diarios (centro der.). Se presenta también el mapa de líneas de igual cantidad de grados días para el período de frío vigente en la norma IRAM 11603 (der.); corresponde a la Figura 6 de la norma IRAM 11063.

Se observa un comportamiento similar en las isóneas de grados días para los tres enfoques y el mapa vigente, con las mayores discrepancias encontrándose en el oeste de la Patagonia y el sur de la provincia de Buenos Aires. Es importante destacar que los resultados en la Patagonia pueden estar condicionados por la menor densidad de estaciones meteorológicas en la región y la interpolación realizada con la técnica de kriging.

4.2 Metodología del período cálido

Para el período cálido, la variable térmica considerada fue la “Temperatura Efectiva Corregida” (TEC), un índice empírico de confort. Los valores de TEC para las estaciones se determinaron utilizando el ábaco presente en la norma (Figura 5; Figura 2 de la norma IRAM 11603), partiendo de la temperatura media, la temperatura máxima y la temperatura de bulbo húmedo del “día típicamente cálido”.

El “día típicamente cálido” es un día representativo de las condiciones de temperatura y humedad relativa que es excedido solamente en un cierto número de días por año. En este caso, debido a la falta de bibliografía específica sobre el tema, se identificó como el día cuya temperatura media es superada en severidad en 8 días durante el año promedio del período de 10 años. Cabe destacar que, en este caso, sólo se consideraron las estaciones con 4 horarios de observaciones y menos de un 30% de datos faltantes.

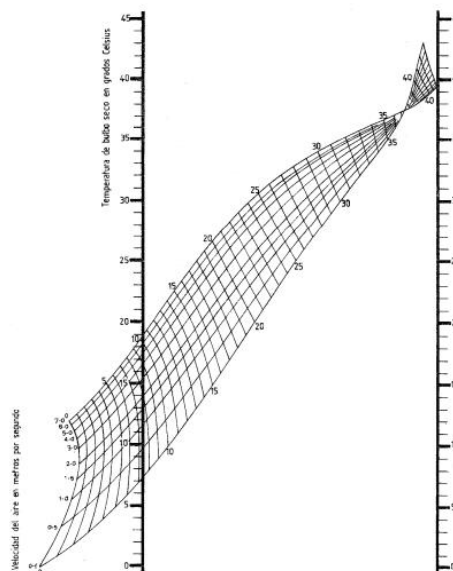


Figura 5: Ábaco de la TEC. Corresponde a la Figura 2 de la norma IRAM 11603.

El mapa de las áreas de TEC para el “día típicamente cálido” se presenta en la Figura 6, junto con el mapa vigente de la norma. Este mapa se construyó a partir de un promedio ponderado entre el 66% de la TEC correspondiente a la temperatura media y el 34% de la TEC correspondiente a la temperatura máxima del “día típicamente cálido”. Según Bouwcentrum Argentina (1976), en base a experiencias realizadas con prototipos, la TEC en el interior de una vivienda correctamente aislada oscila alrededor del promedio ponderado entre el 66% de la TEC media calentada con la temperatura media del aire exterior y el 34% de la TEC máxima calentada con la temperatura máxima del aire exterior, para los “días típicamente cálidos”.

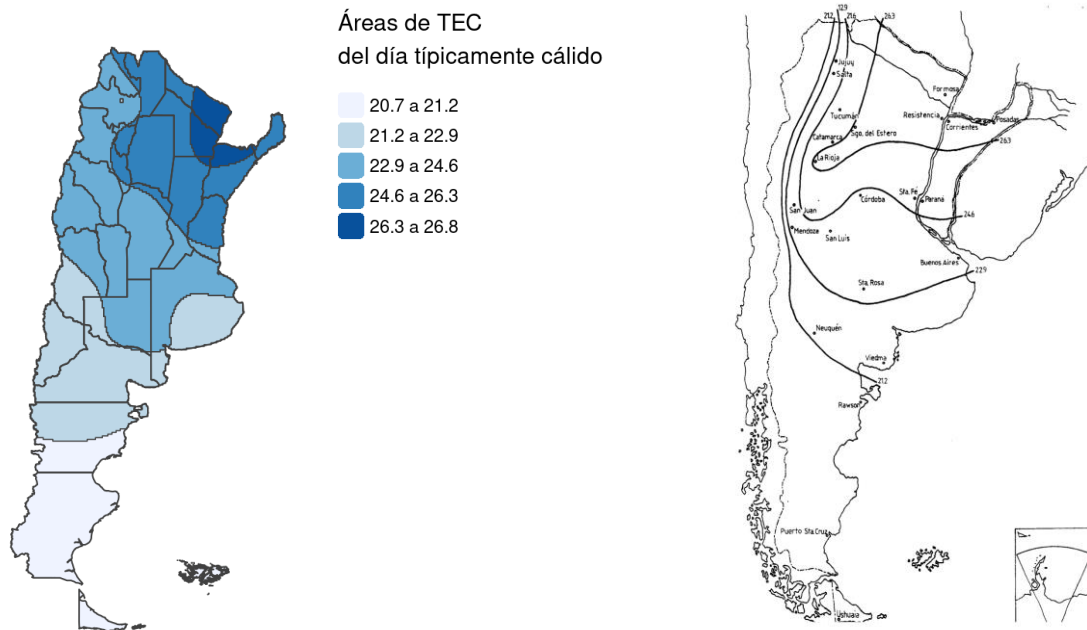


Figura 6: Mapa de áreas de TEC del “día típicamente cálido” (izq.). Se obtuvo a partir del promedio ponderado entre los valores de la TEC de la temperatura media y los valores de la TEC de la temperatura máxima del “día típicamente cálido”. Se presenta también el mapa de líneas de igual TEC para el promedio ponderado del “día típicamente cálido” vigente en la norma IRAM 11603 (der.); corresponde a la Figura 3 de la norma IRAM 11063.

Se observan importantes discrepancias entre el mapa resultante y el de la norma vigente, principalmente en la Patagonia y noroeste argentino.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Diversas instituciones utilizan la norma IRAM 11603 para distintas aplicaciones. En la actualidad, sin embargo, los umbrales allí establecidos están en debate y discusión. En especial, se destacan las definiciones de las temperaturas de diseño de verano e invierno, que se obtienen a partir de valores extremos de percentiles (percentiles 1 y 99) y datos diarios. Al considerar estos percentiles, la frecuencia de eventos fríos diarios de invierno, definidos como los días cuyas temperaturas mínimas diarias son inferiores a su correspondiente temperatura de diseño, es muy baja. Una situación análoga ocurre con eventos cálidos diarios de verano, es decir, con los días de verano cuyas temperaturas máximas diarias superan la temperatura de diseño estival.

Algunas propuestas sugieren calcular las temperaturas de diseño utilizando información horaria y no diaria. Sin embargo, no todas las estaciones meteorológicas realizan mediciones cada hora del día. Otras sí poseen datos en 24 horas, pero sus registros están incompletos o presentan interrupciones. Esto representa un desafío para definir nuevos umbrales térmicos en escalas temporales más pequeñas y plantea la necesidad de explorar alternativas para rellenar las series incompletas de datos horarios de las estaciones. Aquí, se exploran dos enfoques, utilizando datos de estaciones vecinas y de reanálisis, y un método estadístico.

En base a las equivalencias encontradas entre los percentiles de temperaturas horarias y diarias, una opción a considerar sería utilizar percentiles menos extremos de las temperaturas máximas y mínimas diarias para definir las temperaturas de diseño. Esto permitiría obtener, a partir de información diaria, umbrales similares a los que se alcanzarían utilizando datos horarios. Por ejemplo, si se considera el percentil 95 de las máximas diarias para el verano y el percentil 5 de las mínimas diarias para el invierno, se obtendrían umbrales semejantes a los actuales pero con una mayor correspondencia con los percentiles 99 y 1 de las temperaturas

horarias estivales e invernales, respectivamente. Esta alternativa podría ser apropiada y conveniente, ya que responde a las propuestas de utilizar información horaria y da como resultado temperaturas de diseño basadas en percentiles diarios menos estrictos.

En la norma IRAM 11603 también se presenta una clasificación bioambiental de la Argentina, basada en zonas establecidas para los períodos frío y cálido, que fueron definidas a partir de distintas metodologías y variables térmicas. En el presente trabajo se rehicieron los cálculos y los mapas correspondientes a dichos períodos, para el intervalo de 10 años comprendido entre 2011 y 2020. Se siguieron las metodologías documentadas, aunque los detalles técnicos de las mismas no están completamente claros. Se encontraron discrepancias con los mapas vigentes de la norma.

El presente trabajo es una recopilación de estudios realizados por el SMN relacionados con la norma IRAM 11603. Los cálculos y análisis presentados podrían ser de utilidad para futuras revisiones de la norma o para debates relacionados con el acondicionamiento de viviendas más eficientes.

ANEXO 1: COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS HORARIAS Y TEMPERATURAS EXTREMAS DIARIAS

Para las estaciones Aeroparque Buenos Aires y Resistencia Aero y el mes de julio de 2019, se compararon las temperaturas horarias con las temperaturas máxima y mínima diarias, a fin de diferenciar el comportamiento entre los registros diarios y horarios. En las Figuras A1 y Figura A2 se presentan los resultados.

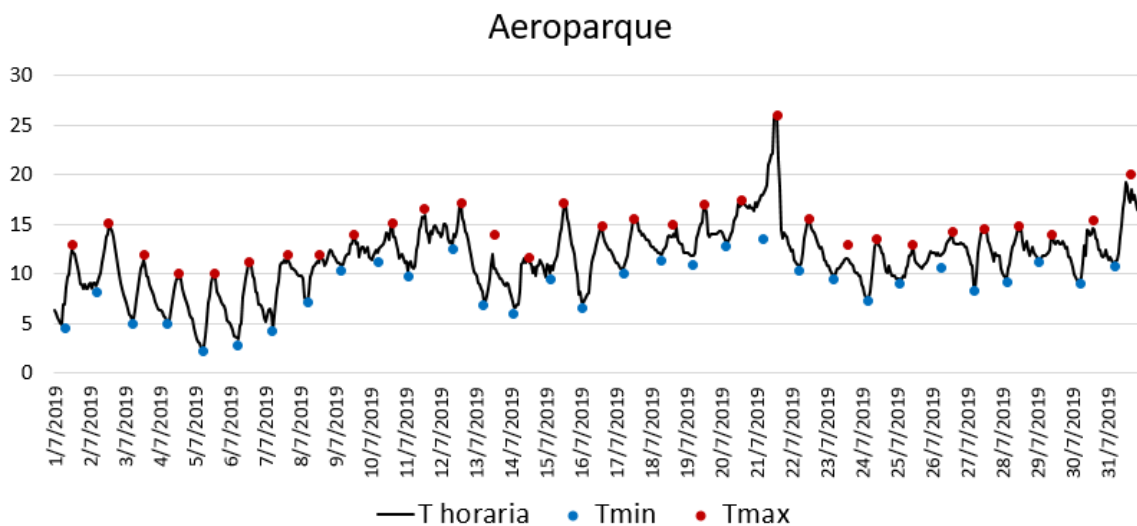


Figura A1: Marcha térmica diaria para la estación Aeroparque Buenos Aires para junio de 2019. En línea negra se representan las temperaturas horarias (en °C); en puntos azules, las temperaturas mínimas diarias (en °C); y en puntos rojos, temperaturas máximas diarias (en °C).

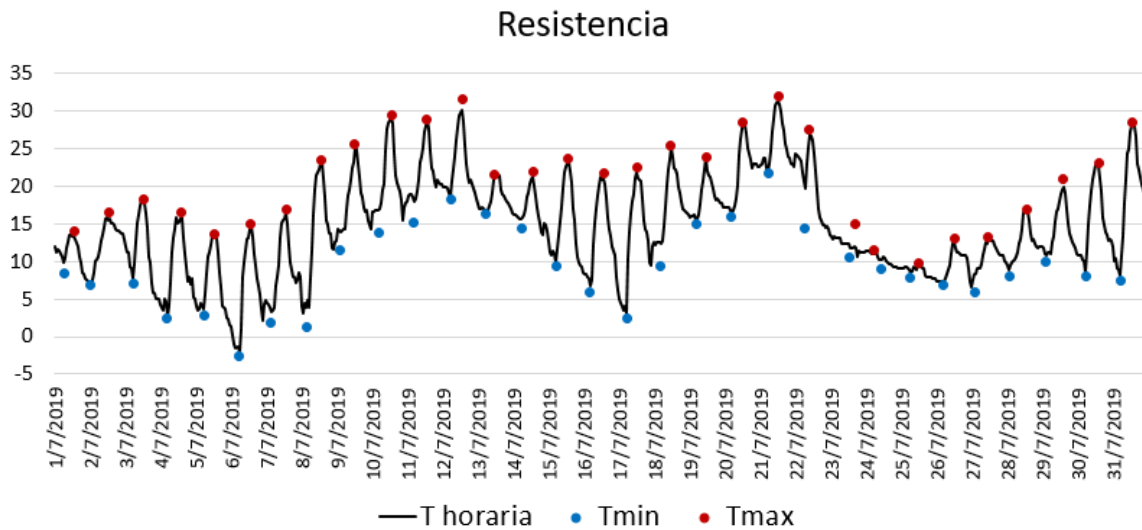


Figura A2: Ídem Figura A1 para la estación Resistencia Aero.

En Aeroparque, la diferencia promedio entre la temperatura mínima horaria y mínima diaria fue del orden de los 0.2°C; en el caso de las temperaturas máximas, fue de 0.3°C. En Resistencia, la diferencia resultó de 0.4°C, tanto para las máximas como para las mínimas.

ANEXO 2: PROCEDIMIENTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE DATOS HORARIOS FALTANTES

Para las series horarias incompletas, una alternativa a considerar para definir umbrales de diseño basados en registros horarios sería rellenarlas. Aquí se exploraron dos enfoques: el uso de datos de estaciones cercanas y el método de regresión lineal utilizando datos de reanálisis o de estaciones vecinas.

A2.1 Mediante datos de estaciones cercanas

Se realizó una prueba para evaluar la viabilidad de utilizar la información de la localidad más cercana para rellenar datos faltantes. Se seleccionaron dos estaciones cercanas para comparar sus temperaturas horarias y determinar la factibilidad de completar las observaciones faltantes de una estación con los registros de la otra. Las estaciones elegidas fueron Paraná Aero y Sauce Viejo Aero, que se encuentran a 32 km de distancia. La Figura A3 muestra la ubicación de ambas estaciones.

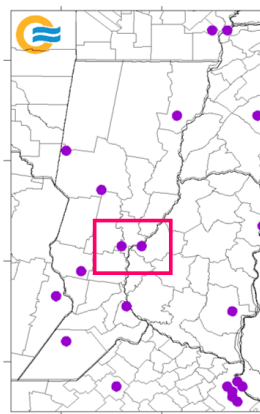


Figura A3: Ubicación de las estaciones Paraná y Sauce Viejo.

En Figura A4 se muestran las series de temperatura horaria de ambas estaciones durante julio de 2019. Las diferencias entre ambas series se presentan en la Figura A5.

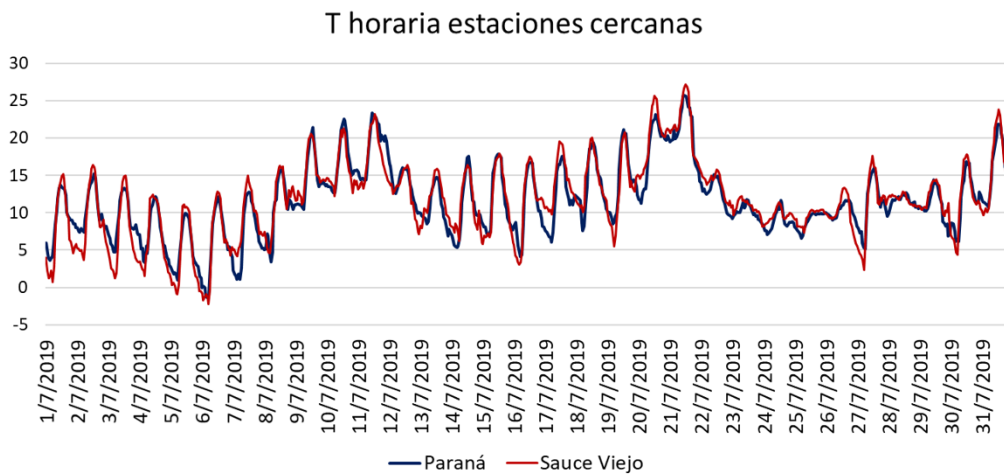


Figura A4: Series de temperaturas horarias (en °C) de Paraná (línea azul) y Sauce Viejo (línea roja) durante julio de 2019.

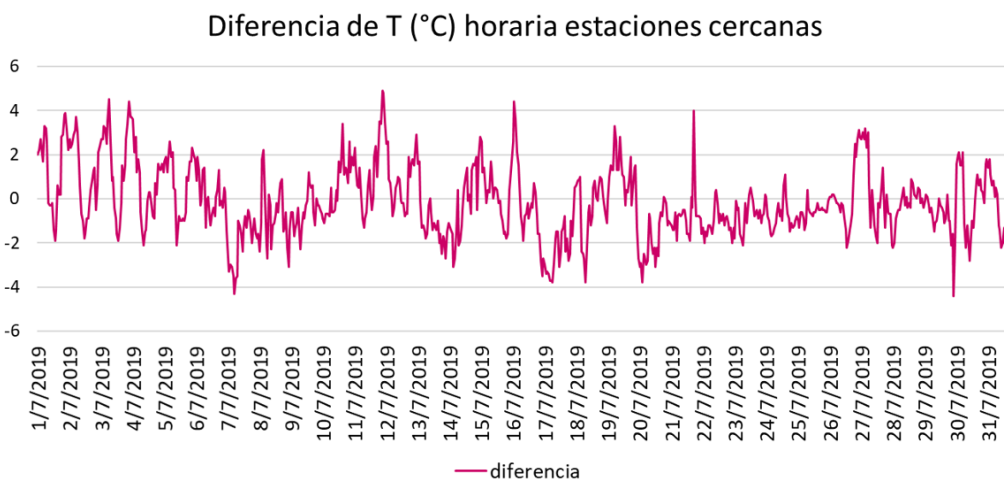


Figura A5: Serie de la diferencia de las temperaturas horarias (en °C) de Paraná y Sauce Viejo durante julio de 2019.

A partir de la Figura A5 se observa que las máximas diferencias de temperatura horaria entre ambas estaciones es de casi 5°C.

A2.2 Mediante el método de regresión lineal y datos de reanálisis o de estaciones cercanas

Se realizó una prueba para completar los registros horarios de temperatura de las estaciones Corrientes Aero, Coronel Suárez Aero y Viedma Aero considerando como método estadístico la regresión lineal simple. Dicha técnica asume que existe una relación lineal entre dos conjuntos de datos (uno independiente o predictor, y el otro, dependiente), en donde el grado de la asociación está determinado por el coeficiente de correlación. Además, proporciona un modelo lineal, la ecuación de una recta, que permite estimar el valor de un dato faltante del conjunto dependiente en función del dato del conjunto independiente. En este caso, el conjunto dependiente correspondió a la serie horaria de alguna de estas estaciones meteorológicas con datos faltantes. Como conjunto independiente, se optó por la serie de la estación meteorológica más cercana (siempre y cuando posea datos en las fechas a estimar) o la serie de la temperatura a 2m del punto de retícula más próximo del reanálisis ERA5 (Hersbach y otros 2020). Se eligió el que presentó el mayor valor de correlación,

siendo éste siempre significativo con un 90% de confianza. Cabe destacar que el mismo procedimiento ya fue utilizado en el estudio previo de Poggi y otros (2021). Dicho estudio consistió en una colaboración del SMN con la Dirección de Energías Renovables, perteneciente a la Secretaría de Energía del Ministerio de Desarrollo Productivo, y se basó en el procesamiento de información meteorológica para la definición de etiquetas de viviendas. Allí, se completaron las series horarias de 77 estaciones meteorológicas utilizando la misma metodología.

Para evaluar el modelo lineal propuesto se consideró la métrica de error cuadrático medio (o MSE, por sus siglas en inglés) y el método de validación cruzada simple (CV, por sus siglas en inglés). Dicho método permite determinar qué tan bien se puede esperar que se desempeñe el modelo elegido al ser aplicado en datos independientes. Posibilita estimar la tasa de error de prueba (o *test error rate*), es decir, el error promedio que resulta de usar el modelo para predecir la respuesta de nuevas observaciones que no participaron en su ajuste.

Para el presente trabajo, el conjunto de entrenamiento de cada una de las tres estaciones meteorológicas contuvo el 80% de los datos del total de las mediciones. El conjunto de validación, el 20% restante. Las observaciones que integraron cada conjunto fueron elegidas de manera aleatoria. En la Tabla A1 se presentan los resultados de la CV.

Tabla A1: Error cuadrático medio (MSE) ($^{\circ}\text{C}^2$) cometido por el modelo al predecir las observaciones del conjunto de validación en la CV.

| Estación | MSE ($^{\circ}\text{C}^2$) |
|---------------------|------------------------------|
| Corrientes Aero | 0.9 |
| Coronel Suárez Aero | 2.55 |
| Viedma Aero | 2.82 |

El menor MAE se observó en Corrientes Aero mientras que el mayor, en Viedma Aero. Según esta métrica, el modelo presentó una mejor capacidad de estimar o predecir observaciones independientes en Corrientes. Cabe destacar que Corrientes realiza registros en sus 24 h. Resultados distintos y menos alentadores podrían haberse encontrado en estaciones que midan cada cierto intervalo de tiempo, por ejemplo cada 3 h, o que no realicen registros durante la noche.

REFERENCIAS

Bouwcentrum Argentina, 1976: Regiones climáticas de la República Argentina. Resúmenes de Orientación. Biblioteca del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., and others, 2020: The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

New, M., Hulme, M., Jones, P.D. 1999: Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. Journal of Climate 12, 829-856.

Norma IRAM 11601, 2002: Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Tercera edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11603, 2012: Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Tercera edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma 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. Segunda edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11605, 1996: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Primera edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11625, 2000: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Tercera edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11630, 2000: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Primera edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Poggi M., F. Nollas, M.M. Skansi, J.L. Stella y M. Tervidovicius, 2021: Procesamiento de información meteorológica para el Etiquetado de Viviendas. Nota Técnica SMN 2021-97.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).