

GENERACION DEL AÑO METEOROLOGICO TIPICO PARA LA CIUDAD DE SANTA FE EN LA REGION LITORAL ARGENTINA

F. Bre^{a,b,1}, **V. D. Fachinotti**^{a,2}

^a Centro de Investigación de Métodos Computacionales (CIMEC), Universidad Nacional del Litoral (UNL)/
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Predio CCT-CONICET Santa Fe, Ruta 168, Paraje El Pozo, CP 3000, Santa Fe, Argentina
Tel. +54-342-4511594x1019, Fax: +54-342-451169, emails: facubre@cimec.santafe-conicet.gov.ar,
vfachino@intec.unl.edu.ar

^b Grupo de Métodos Numéricos en Ingeniería, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Ing. Pereyra 676, CP 3260, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

Recibido 13/08/14, aceptado 22/09/14

RESUMEN

Este trabajo está dedicado a la definición del año meteorológico típico (TMY, del inglés Typical Meteorological Year) en la ciudad de Santa Fe, ubicada en la región Litoral de la República Argentina. La definición del año típico es fundamental para la elaboración del archivo climático utilizado por los códigos de Simulación Energética de Edificios (BES, del inglés Building Energy Simulation). Se partió de datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina sobre diversas variables meteorológicas (temperatura de bulbo seco, temperatura de punto de rocío, humedad, etc.) registradas en intervalos horarios a lo largo de 14 años (2000-2013) en el Aeropuerto de Sauce Viejo (latitud 31.70°S, longitud 60.82°O, elevación 17 msnm). En base a criterios estadísticos, por cada mes del año, uno de todos los meses de muestra se cataloga como Mes Meteorológico Típico (TMM, del inglés Typical Meteorological Month). La concatenación de los doce TMMs define el TMY.

Palabras clave: Año Meteorológico Típico, Ciudad de Santa Fe, Región Litoral Argentina, Simulación Energética de Edificios.

INTRODUCCION

Contar con información meteorológica completa y precisa es crucial para obtener resultados confiables en Simulación Energética de Edificios (BES, del inglés Building Energy Simulation). Específicamente, es necesario conocer diversos parámetros meteorológicos como temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica, radiación solar, etc., representativos del clima en la localidad donde el edificio está/será emplazado.

La ciudad de Santa Fe, capital de la provincia homónima, se encuentra en la zona bio-ambiental IIb según la norma IRAM 11603 (1996), de clima cálido y amplitudes térmicas menores de 14°C, como se muestra en la Figura 1. Dicha norma define sendos días típicos para invierno y verano, caracterizados por valores únicos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc. para todos los meses de invierno y verano respectivamente.

De manera más sofisticada, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) usa modelos que permiten reconstruir la variación de los parámetros de interés a lo largo de las 24 horas de un día típico estacional o mensual (ASHRAE, 2009).

Sin embargo, la respuesta térmica de un edificio en un día cualquiera depende generalmente de las condiciones meteorológicas del día anterior, efecto que es imposible de captar usando el concepto de día típico mensual o estacional. Para ello es necesario contar con información meteorológica continua a lo largo de todas las estaciones, esto es, a lo largo de un año entero considerado representativo del lugar. Tal información pueden organizarse de varias maneras, habiéndose elegido aquí el concepto de Año Típico Meteorológico (TMY) introducido por Hall et al. (1978). Un TMY es un conjunto de datos meteorológicos horarios que representan las condiciones meteorológicas consideradas típicas de una localidad dada en un periodo relativamente largo.

¹ Becario doctoral CONICET.

² Investigador Independiente CONICET.

En la Argentina, a nuestro conocimiento, sólo la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) tiene definido su TMY (ASHRAE, 2009b). Dicha ciudad pertenece a la zona bio-ambiental IIIb (norma IRAM 11603, 1996), de clima templado cálido y amplitudes térmicas menores de 14°C (ver Figura 1).

En un trabajo previo (Bre et al., 2013), recurrimos al archivo climático correspondiente a la ciudad brasileña de Uruguaiana (Roris, 2012), la localidad con año típico conocido de condiciones climáticas más próximas a las de la ciudad de Santa Fe, como puede verse en la Figura 1.

El objetivo de este trabajo es definir el TMY propio de la ciudad de Santa Fe en base a los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, registrados en el Aeropuerto de Sauce Viejo en el periodo 2000-2013.

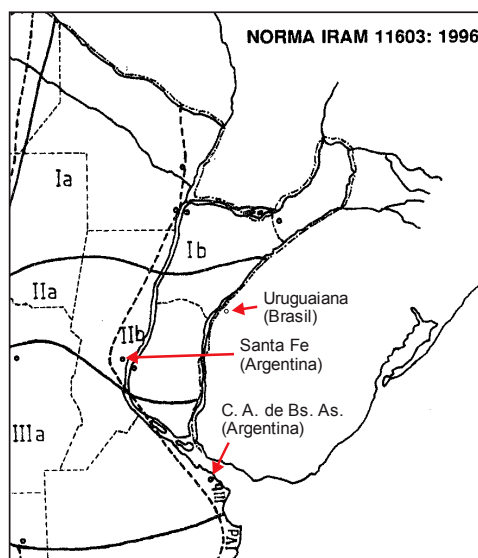


Figura 1: Detalle del mapa bio-ambiental de la República Argentina, mostrando la ubicación de la ciudad de Santa Fe (extracto de la norma IRAM 11603, 1996).

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Para caracterizar las condiciones meteorológicas típicas en la ciudad de Santa Fe, partimos de datos proporcionados por el SMN registrados en el período 2000-2013 en el Aeropuerto de Sauce Viejo. Las variables registradas son: Temperatura de Bulbo Seco (TBS), Temperatura de Punto de Rocío (TPR), Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH), Dirección del Viento (DV), Velocidad del Viento (VV), Presión (P), Humedad Relativa (HR), Nubosidad Total (NT), Altura del Techo de Nubes (ATN), Precipitación (Pr) y Código de Tiempo Presente (TTP).

Normalmente, el intervalo entre los registros del SMN es de una hora. En los casos de intervalos entre datos no mayores de 5 horas, se obtienen valores horarios por interpolación lineal. Para intervalos de entre 6 y 47 horas sin datos, debe recurrirse a interpolación no lineal (Marion y Urban, 1995). Vale destacar que el mes de noviembre de 2007 presenta varios intervalos mayores de 47 horas sin datos, por lo que consideramos no completar los datos faltantes de dicho mes y directamente excluirlo del análisis.

Los datos aportados por el SMN no incluyen Radiación Solar Global (RSG), variable de primordial importancia para la definición del TMY. Recurrimos entonces a datos de RSG provistos por el Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Dichos datos fueron registrados en el campus de la Facultad, sito en la Ciudad Universitaria de la UNL, en la ciudad de Santa Fe. Los datos fueron registrados cada 10 a 15 minutos en el periodo octubre 2008-abril 2014. Desafortunadamente, los datos de RSG de CIM no tienen la completitud necesaria para ser incluidos directamente en un análisis estadístico. Por dicha razón, decidimos calcular la RSG mediante el modelo de Zhang y Huang (2002), y utilizar el año más completo de los registrados por CIM (2010) para validar el modelo y obtener nuevos parámetros de ajuste.

Modelo de la radiación solar

En base a los datos disponibles de TBS, NT, HR y VV (registrados por SMN), aplicamos el modelo de Zhang y Huang (2002) para definir la RSG a la hora h (en W/m^2):

$$I(h) = \max\left(\frac{I_0 \sin \beta (c_0 + c_1 NT + c_2 NT^2 + c_3 (TBS(h) - TBS(h-3)) + c_4 HR + c_5 VV) + d}{k}, 0\right) \quad (1)$$

donde $I_0 = 1355 \text{ W/m}^2$ es la constante global solar, β es el ángulo de altura solar, c_0, \dots, c_5, d y k son coeficientes de ajuste. El ángulo de altura solar está definido por:

$$\beta = \text{sen}^{-1}(\cos L \cos \delta \cos H + \text{sen } L \text{ sen } \delta) \quad (2)$$

donde L es la latitud local, δ la declinación solar y H el ángulo solar horario, definido como el desplazamiento angular del sol de este a oeste del meridiano local; los valores δ y H fueron obtenidos según ASHRAE (2009).

En una primera aproximación, usamos la ecuación (1) con los coeficientes de ajuste estimados por Krarti et al. (2006) para climas tropicales, recientemente utilizados por Kim et al. (2013) para caracterizar la radiación solar en diversas localidades del estado de Texas (EEUU). A la izquierda en la Figura 2, se compara la RSG así modelada con la RSG medida por CIM durante el año 2010 usando indicadores estadísticos como el error sistemático medio (MBE, del inglés Mean Bias Error) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE, del inglés Root Mean Square Error).

Luego, en busca de mayor precisión, recalculamos los coeficientes de ajuste de la ecuación (1) usando análisis de regresión en base a la RSG medida por CIM a lo largo del año 2010, obteniendo $c_0 = 0.7216$, $c_1 = 0.2232$, $c_2 = -0.5799$, $c_3 = 0.0141$, $c_4 = 0.0007$, $c_5 = -0.0167$, $d = -106.9242$ y $k = 0.8430$. A la derecha en la Figura 2, se compara la RSG modelada usando estos nuevos coeficientes con la RSG medida por CIM durante 2010, apreciándose que las magnitudes de los errores MBE y RSME son menores que en el primer caso.

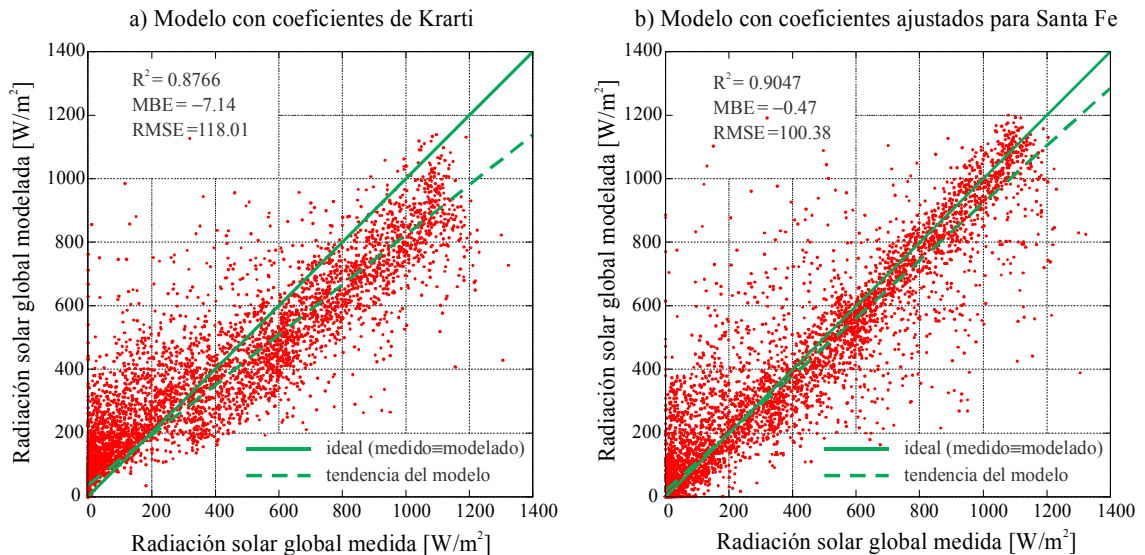


Figura 2: Comparación de dispersión entre la radiación solar global estimada por el modelo Zhang y Huang (2002) y la radiación medida por CIM para la ciudad de Santa Fe, durante el año 2010: a) modelo con coeficientes para climas tropicales según Krarti et al. (2006); b) modelo con coeficientes ajustados para la ciudad de Santa Fe.

DEFINICIÓN DEL MES METEOROLÓGICO TÍPICO

Siguiendo el método Sandia (Hall et al., 1978), definimos la bondad con que cierto mes de un año representa las condiciones históricas típicas de dicho mes comparando la Función de Distribución Acumulada (CDF, del inglés Cumulative Distribution Function) para ese mes de ese año con la CDF para ese mes al largo plazo, para cada una de las variables meteorológicas. El método requiere valores diarios de las variables meteorológicas, específicamente: 1) TBS máxima (TBSMAX), 2) TBS mínima (TBSMIN), 3) TBS media (TBSMED), 4) TPR máxima (TPRMAX), 5) TPR mínima (TPRMIN), 6) TPR media (TPRMED), 7) VV máxima (VVMAX), 8) VV media (VVMED), y 9) RSG total (RSGTOT). Las variables 1) a 8) se calculan en base a los datos medidos por el SMN en el Aeropuerto de Sauce Viejo durante el periodo 2000-2013, mientras que la variable 9) se calcula a partir de los valores obtenidos usando el modelo de Zhang y Huang (2002) con los coeficientes ajustados para la ciudad de Santa Fe y TBS, NT, HR y VV medidos por SMN en dicho aeropuerto y en dicho periodo.

Por claridad, explicaremos el procedimiento para determinar cuán representativo es un mes de un año en particular, empezando por enero del 2000, teniendo en cuenta los registros históricos para ese mes (en nuestro caso, enero del 2000 al 2013). Sea una variable meteorológica cualquiera dada en valores diarios, por ejemplo la máxima diaria de la temperatura de bulbo seco (TBSMAX). Ordenemos los datos de TBSMAX a lo largo de un periodo dado en forma creciente: $TBSMAX_1, TBSMAX_2, \dots, TBSMAX_n$, donde $TBSMAX_i \leq TBSMAX_{i+1}$ y n designa el número total de datos (en el caso analizado, $n = 31$ para enero 2000, mientras que $n = 434$ para enero 2000-2013). Siguiendo a Hall et al. (1978), estimamos la CDF para la variable TBSMAX en un periodo dado (en el que hay n datos) como

$$CDF(TBSMAX) = \begin{cases} 0 & \text{si } TBSMAX < TBSMAX_1 \\ (i - 0.5)/n & \text{si } TBSMAX_i \leq TBSMAX \leq TBSMAX_{i+1} \\ 1 & \text{si } TBSMAX > TBSMAX_n \end{cases} \quad (3)$$

Luego, las CDF para la TBSMAX de enero 2000 y de enero 2000-2013 son comparadas usando la estadística de Finkelstein y Schafer (1971). El mes de enero 2000 tendrá la TBSMAX tanto más representativa cuanto menor sea el índice

$$FS_{\text{enero 2000}}(TBSMAX) = \sum_{i=1}^{31} |CDF_{\text{enero 2000-2013}}(TBSMAX_i) - CDF_{\text{enero 2000}}(TBSMAX_i)| \quad (4)$$

donde la CDF para enero 2000 se calcula usando la ecuación (3) para los respectivos $n = 31$ datos, y la CDF para enero 2000-2013 se calcula usando la ecuación (3) para los respectivos $n = 434$ datos.

De manera análoga, evaluamos cuan representativo es enero 2000 en términos de las demás variables meteorológicas diarias. Para ello, determinamos $FS_{\text{enero 2000}}(X)$ para $X = TBSMIN, TBSMED, TPRMAX$, etc. usando las ecuaciones (3) y (4) con TBSMAX remplazada por X.

En general, algunas variables serán más relevantes que otras en la elección del mes típico. Para ello, se define el índice ponderado

$$WS_{\text{enero 2000}} = \sum_X w_X \times FS_{\text{enero 2000}}(X) \quad (5)$$

donde w_X es el peso que se le asigna a la variable $X = TBSMAX, TBSMIN, TBSMED, TPRMAX$, etc. Ahora, enero 2000 será tanto más representativo en términos de todas las variables (algunas más relevantes que otras) cuanto menor sea $WS_{\text{enero 2000}}$. Siguiendo a Hall et al. (1978), adoptamos $w_X = 1/24$ para TBSMAX, TBSMIN, TPRMAX y TPRMIN, $w_X = 1/12$ para TBSMED, TPRMED, VVMAX y VVMED, y $w_X = 1/2$ para RSGTOT.

De manera análoga, calculamos $WS_{\text{enero 20xx}}$ para el mes de enero de los demás años $20xx = 2001, 2002, \dots, 2013$. Finalmente, elegimos los cinco enero 20xx con menor $WS_{\text{enero 20xx}}$ como candidatos para definir el mes de enero meteorológicamente típico, es decir, el TMM correspondiente a enero.

Finalmente, siguiendo a Pissimanis et al. (1988), el TMM es aquél de los candidatos con menor desviación respecto del promedio a largo plazo de la radiación solar global (RSG). Dicha desviación es medida por la RMSD (del inglés Root Mean Square Difference), definida como

$$RMSD_{\text{enero 20xx}} = \left(\frac{1}{31 \times 24} \sum_{d=1}^{31} \sum_{h=1}^{24} (RSG(d, h) - \overline{RSG}(d, h))^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

donde $RSG(d, h)$ es la RSG a la hora h del día d de enero 20xx (uno de los candidatos) y $\overline{RSG}(d, h)$ es el promedio en el período 2000-2013 de la RSG a la hora h del día d de enero.

RESULTADOS

El procedimiento descrito para enero en la sección anterior se repite para todos los demás meses del año, produciendo la Tabla 1 que muestra los índices WS para todos los meses de todos los años de la muestra. Por cada mes, los cinco años con menor WS (subrayados en la Tabla 1) resultan candidatos a TMM. La Tabla 2 lista los valores de RMSD para todos los meses candidatos, siendo el mes con menor RMSD el elegido como TMM (subrayado en la Tabla 2).

Finalmente, la Tabla 3 resume el TMY, concatenación de todos los TMM.

| Año | Mes | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| 2000 | <u>0.239</u> | <u>0.190</u> | <u>0.252</u> | 0.340 | 0.318 | 0.345 | $\frac{0.33}{6}$ | <u>0.137</u> | <u>0.139</u> | 0.265 | 0.311 | <u>0.172</u> |
| 2001 | 0.340 | 0.291 | 0.350 | <u>0.223</u> | 0.295 | <u>0.229</u> | $\frac{0.30}{3}$ | 0.381 | 0.402 | 0.460 | 0.249 | <u>0.206</u> |
| 2002 | <u>0.204</u> | <u>0.204</u> | 0.557 | 0.375 | 0.305 | 0.376 | $\frac{0.37}{4}$ | <u>0.207</u> | <u>0.188</u> | 0.359 | <u>0.205</u> | 0.494 |
| 2003 | 0.266 | <u>0.206</u> | 0.328 | 0.318 | <u>0.233</u> | 0.436 | $\frac{0.20}{1}$ | <u>0.216</u> | <u>0.152</u> | <u>0.130</u> | <u>0.153</u> | 0.341 |
| 2004 | <u>0.224</u> | 0.369 | 0.306 | 0.326 | 0.364 | <u>0.210</u> | $\frac{0.20}{9}$ | <u>0.172</u> | <u>0.155</u> | <u>0.253</u> | 0.269 | <u>0.261</u> |
| 2005 | <u>0.231</u> | 0.297 | <u>0.249</u> | 0.332 | <u>0.246</u> | 0.563 | $\frac{0.23}{3}$ | 0.394 | 0.309 | 0.337 | <u>0.163</u> | 0.281 |
| 2006 | 0.246 | 0.247 | 0.395 | <u>0.179</u> | 0.291 | <u>0.265</u> | $\frac{0.35}{1}$ | 0.218 | 0.301 | <u>0.214</u> | <u>0.177</u> | 0.337 |
| 2007 | 0.416 | <u>0.147</u> | 0.516 | 0.370 | 0.375 | 0.359 | $\frac{0.35}{6}$ | 0.327 | 0.325 | 0.300 | - | <u>0.229</u> |
| 2008 | <u>0.230</u> | <u>0.185</u> | <u>0.184</u> | 0.438 | 0.351 | 0.345 | $\frac{0.47}{7}$ | 0.332 | 0.222 | <u>0.174</u> | 0.272 | 0.318 |
| 2009 | 0.438 | 0.223 | 0.317 | 0.419 | <u>0.252</u> | 0.489 | $\frac{0.35}{3}$ | <u>0.194</u> | 0.246 | 0.332 | 0.461 | 0.521 |
| 2010 | 0.316 | 0.435 | <u>0.280</u> | <u>0.253</u> | 0.263 | <u>0.202</u> | $\frac{0.22}{0}$ | 0.389 | 0.218 | 0.377 | 0.439 | 0.293 |
| 2011 | 0.246 | 0.227 | 0.318 | <u>0.208</u> | <u>0.225</u> | 0.281 | $\frac{0.19}{1}$ | 0.234 | 0.236 | 0.347 | 0.227 | 0.344 |
| 2012 | 0.460 | 0.273 | <u>0.228</u> | <u>0.229</u> | 0.303 | <u>0.250</u> | $\frac{0.44}{2}$ | 0.340 | <u>0.207</u> | 0.338 | 0.244 | <u>0.190</u> |
| 2013 | 0.300 | 0.299 | 0.448 | 0.321 | <u>0.167</u> | 0.352 | $\frac{0.20}{8}$ | 0.389 | 0.280 | <u>0.259</u> | <u>0.209</u> | 0.403 |

Tabla 1: Índice WS para todos los meses de todos los años de la muestra. Subrayados, aparecen los meses candidatos a ser elegido como TMM.

| Año | Mes | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| 2000 | 145.98 | 150.15 | <u>101.29</u> | - | - | - | - | 94.66 | 120.86 | - | - | 137.08 |
| 2001 | - | - | - | 103.83 | - | 76.87 | - | - | - | - | - | 125.16 |
| 2002 | 125.28 | 128.65 | - | - | - | - | - | 82.08 | <u>103.18</u> | - | 143.92 | - |
| 2003 | - | 151.11 | - | - | 77.74 | - | $\frac{80.8}{0}$ | 92.22 | 108.08 | 125.61 | <u>133.93</u> | - |
| 2004 | <u>99.80</u> | - | - | - | - | 73.71 | $\frac{68.6}{0}$ | 97.36 | 110.26 | 133.15 | - | <u>117.49</u> |
| 2005 | 132.89 | - | 124.86 | - | 91.31 | - | - | - | - | - | 146.13 | - |
| 2006 | - | - | - | 101.10 | - | 70.91 | - | - | - | <u>120.92</u> | 136.11 | - |
| 2007 | - | 148.71 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 141.85 |
| 2008 | 139.39 | <u>125.88</u> | 115.28 | - | - | - | - | - | - | 122.41 | - | - |
| 2009 | - | - | - | - | 82.28 | - | - | <u>75.82</u> | - | - | - | - |
| 2010 | - | - | 106.12 | <u>91.31</u> | - | 73.44 | $\frac{71.8}{2}$ | - | - | - | - | - |
| 2011 | - | - | - | 98.31 | 80.58 | - | $\frac{76.8}{6}$ | - | - | - | - | - |
| 2012 | - | - | 109.08 | 91.67 | - | <u>68.43</u> | - | - | 115.37 | - | - | 135.07 |
| 2013 | - | - | - | - | <u>77.05</u> | - | $\frac{85.0}{9}$ | - | - | 127.96 | 154.54 | - |

Tabla 2: RMSD de la radiación solar global para los 5 años candidatos por cada mes. Subrayado aparece el mes del año elegido como TMM.

| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-----|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Año | 2004 | 2008 | 2000 | 2010 | 2013 | 2012 | 2004 | 2009 | 2002 | 2006 | 2003 | 2004 |

Tabla 3: Años que definen los TMM que conforman el TMY de la ciudad de Santa Fe.

La Figura 3 muestra los valores horarios mensuales de la radiación solar global, promediados sobre el TMY, sobre todos los años y sobre un año conformado con los peores meses en términos de RMSD.

La Figura 4 muestra los valores horarios mensuales de la temperatura de bulbo seco, promediados sobre el TMY, sobre todos los años y sobre un año conformado con los peores meses en términos de RMSD.

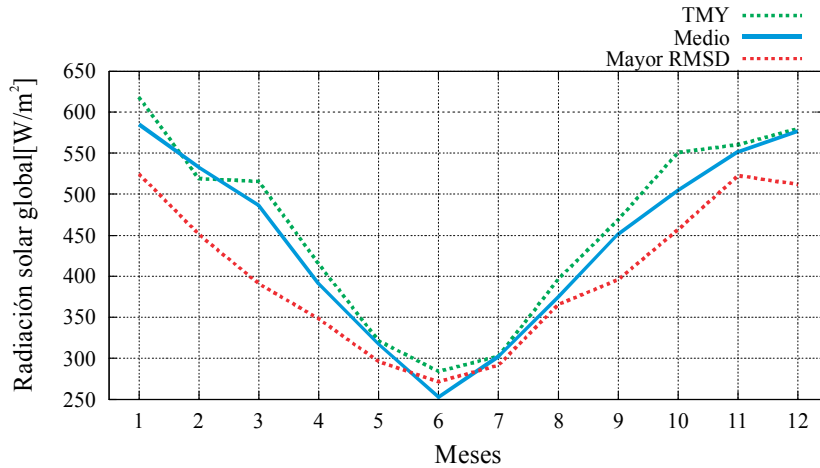


Figura 3: Valores horarios medios mensuales horarios de la radiación solar global.

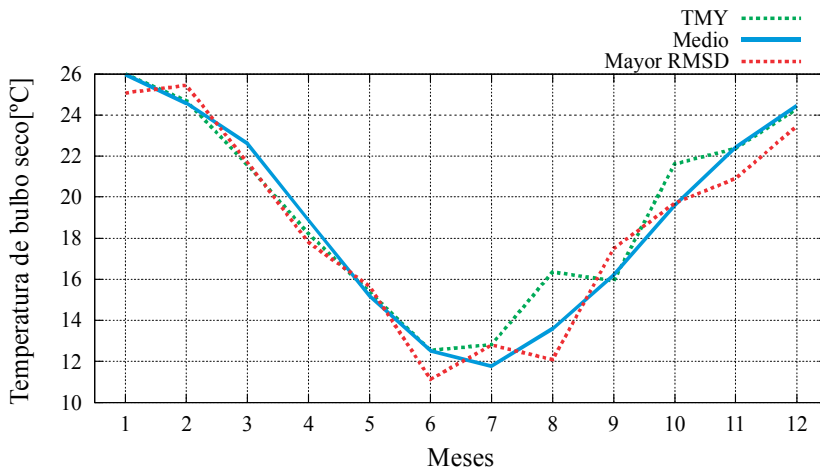


Figura 4: Valores horarios medios mensuales horarios de la temperatura de bulbo seco.

La Figura 5 muestra los valores horarios de la radiación solar global promediada sobre el mes de enero típico, sobre todos los meses de enero del período 2000-2013, y sobre el mes de enero con RMSD más alta.

La Figura 6 muestra los valores horarios de la radiación solar global promediada sobre el mes de julio típico, sobre todos los meses de julio del período 2000-2013, y sobre el mes de julio con RMSD más alta.

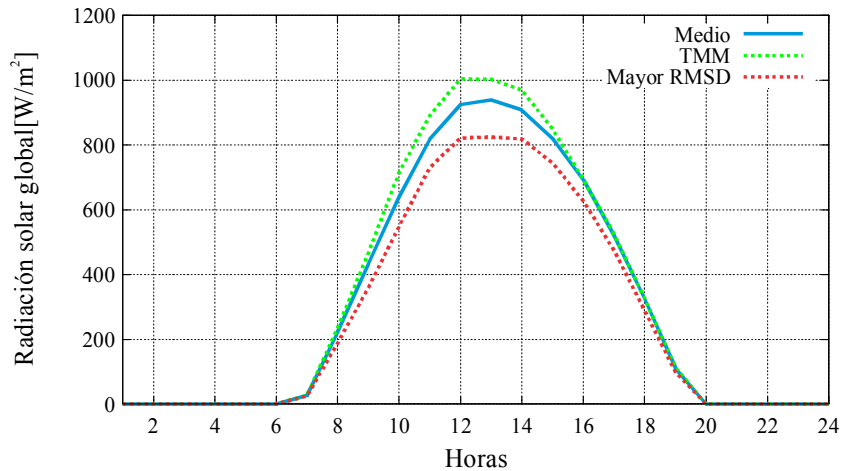


Figura 5: Radiación solar global para el mes de enero (verano austral).

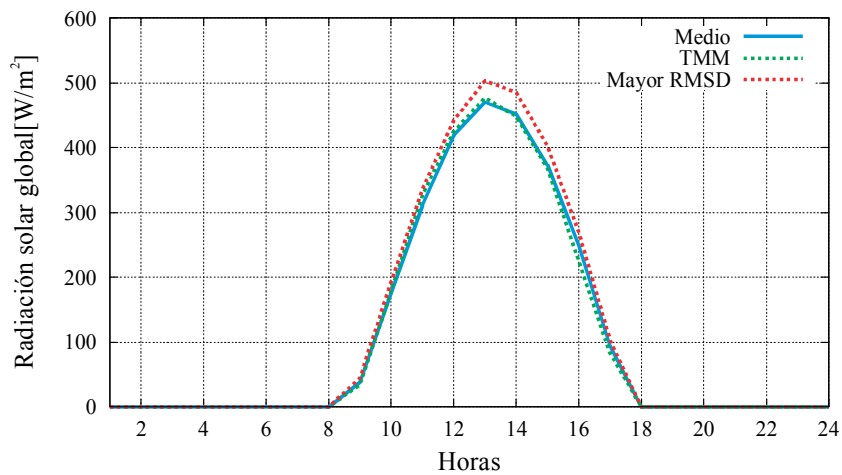


Figura 6: Radiación solar global para el mes de julio (invierno austral).

CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha generado el año meteorológico típico (TMY) de la ciudad de Santa Fe, antes inédito. Tal información resulta crucial para la precisión de los resultados en BES, que es nuestro objetivo último.

En el camino, se han desarrollado códigos computacionales para la implementación de la metodología seguida para generar el TMY, que permitirán actualizar fácilmente los resultados a medida que contemos con nuevos datos experimentales.

Gracias al trabajo, Santa Fe es hoy la segunda ciudad argentina con TMY, después de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Los códigos aquí desarrollados son directamente aplicables a cualquier otra localidad que cuente con un conjunto de datos meteorológicos suficientemente completo. Es nuestra intención aplicarlos a otras ciudades de nuestro país, habilitando una modelización más precisa del comportamiento térmico de las edificaciones, condición *sine qua non* para la mejora de la eficiencia energética.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, que nos proveyó los datos meteorológicos registrados en el Aeropuerto de Sauce Viejo. Asimismo, agradecemos al Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), que aportó los datos medidos en la Ciudad Universitaria de la UNL.

El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos:

1. "Eficiencia energética en edificios" (Resolución SECTEI 117/13, Proyecto N° 2010-040-13), financiado por la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTeI) de la Provincia de Santa Fe y avalado por la Subsecretaría de Energías Renovables - Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe.
2. "Reducción del costo de climatización en viviendas de la Región Litoral" (CAI+D PI 83-441), financiado por la Universidad Nacional del Litoral (UNL).

REFERENCIAS

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2009). 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2009b). 2009 ASHRAE Handbook - Climate Design Data 2009.
- Bre F., Fachinotti V. D. y Bearzot G. (2013). Simulación computacional para la mejora de la eficiencia energética en la climatización de viviendas. *Mecánica Computacional*, Vol. XXXII, 3107-3119.
- Finkelstein J. M. y Schafer R. E. (1971). Improved goodness-of-fit tests. *Biometrika* 58, 3, 641-645.
- Hall I. J., Prairie R.R., Anderson H. E. y Boes E. C. (1978). Generation of typical meteorological years for 26 SOLMET stations. Reporte SAND 78-1601, Sandia National Laboratories, EEUU.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1996). Norma IRAM 11603 - Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Kim K. H., Baltazar J. C. y Haberl J. S. (2013). Evaluation of meteorological base models for estimating hourly global solar radiation in Texas. *Procs. 2013 ISES Solar World Congress*, Cancún, México.
- Krarti M., Huang J., Seo D. y Dark J (2006). Development of solar radiation models for tropical locations. ASHRAE Project RP-1309.
- Marion W. y Urban K. (1995). User's manual for TMY2 typical meteorological years. National Renewable Energy Laboratory (NREL), EEUU.
- Pissimanis D., Karras G., Notaridou V. y Gavra K. (1988). The generation of a "typical meteorological year" for the city of Athens. *Solar Energy* 40, 5, 405-411.
- Roris M. (2012). Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, Brasil.
- Zhang Q. Y., Huang Y. J. (2002). Development of typical year weather files for Chinese locations. *ASHRAE Transactions*, 108, 2, 1063-1075.

ABSTRACT

This work is addressed to the definition of the Typical Meteorological Year (TMY) in Santa Fe city, in the Littoral Region of Argentina. The knowledge of the typical year is a key issue for building the weather file needed by the software for Building Energy Simulation (BES). This work is based on meteorological data supplied by the Argentine Meteorological Service (SMN), including dry bulb temperature, dew point, relative humidity, etc., hourly surveyed along 14 years (2000-2013) at Sauce Viejo Airport (latitude 31.70°S, longitude 60.82°O, elevation 17 mamsl). Using statistics-based criteria, once for each of the twelve months of the year, one of all the months of the whole sample is catalogued as Typical Meteorological Month (TMM). The concatenation of the twelve TMMs defines the TMY.

Keywords: Typical Meteorological Year, Santa Fe city, Argentine Littoral Region, Building Energy Simulation.