

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROGRAMA SIMEDIF MEDIANTE MÉTODO DE MONTECARLO Y DIFERENCIAL¹

Silvana Flores Larsen² y Graciela Lesino

INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. - CONICET
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital - Argentina
Tel. 54-387-4255424, Fax 54-387-4255489, E-mail: seflores@unsa.edu.ar

RESUMEN: El análisis de sensibilidad es el estudio de cómo influyen en la salida las variables de entrada de un modelo. En el presente trabajo se aplicó dicho análisis al modelo térmico de SIMEDIF para estudiar sensibilidad individual (que describe la influencia en la salida de las variaciones de cada parámetro de entrada) y global (que considera las interacciones de todos los parámetros de entrada). Se utilizaron los métodos diferencial y de MonteCarlo. Se encontró que el método diferencial es el más adecuado para estimar sensibilidad individual, pero como el modelo térmico no verifica el principio de superposición con total exactitud, el método permite obtener sólo un valor aproximado de sensibilidad global. Para estimarla con mayor exactitud se aplicó el método de MonteCarlo, obteniéndose los intervalos de confianza para temperaturas máxima, media y mínima diarias.

Palabras clave: sensibilidad, método diferencial, MonteCarlo, SIMEDIF.

INTRODUCCIÓN

El análisis de sensibilidad es el estudio de cómo influyen en la salida las variables de entrada de un modelo, es decir, cómo afectan las incertidumbres en las entradas el intervalo de confianza de la salida. Una incertidumbre es causada por falta de información. Este tipo de análisis permite incrementar la confianza en las predicciones de un determinado modelo, cuantificando el intervalo de confianza asociado a la salida, como resultado de las incertidumbre en las variables de entrada. Existe un gran número de metodologías aplicables al análisis de sensibilidad, cada una con sus ventajas y desventajas, las cuales se aplican en variados campos de investigación que abarcan la economía, ingeniería, industria nuclear, defensa, análisis de riesgo ambiental, etc. La elección de la metodología a utilizar es un proceso muy delicado que depende de las propiedades del modelo a ser estudiado, como linealidad, superposición, monotonicidad, número de variables de entrada y de salida, etc.

El análisis de sensibilidad permite evaluar dos tipos de sensibilidad: *individual*, que describe la influencia en la salida de las variaciones de cada parámetro de entrada; y *global*, que considera las interacciones de todos los parámetros de entrada. En el primer caso, permite identificar las variables de entrada que afectan en mayor medida a la salida (y que en consecuencia deben elegirse con cuidado), y aquellas variables para las que la salida es insensible, con lo que no es necesario una especificación con gran exactitud. En el segundo caso, el análisis de sensibilidad global permite evaluar la resolución del programa en predicciones absolutas.

El método diferencial, que consiste en variar un parámetro de entrada por vez, es de sencilla aplicación cuando el número de variables de entrada a analizar es pequeño, y permite obtener una estimación de la sensibilidad individual de cada uno de los parámetros de entrada. Si los parámetros de entrada no son independientes, el método no permite obtener una sensibilidad global, debido a que no tiene en cuenta los efectos de interacción entre parámetros de entrada. Entre los métodos que se utilizan cuando existe un gran número de variables de entrada se cuenta el método de MonteCarlo, que permite calcular los intervalos de confianza en alrededor de 100 corridas (exactitud de $\pm 14\%$ si la hipótesis gaussiana es válida, según Fürbringer y Roulet, 1995), con cualquier número de variables de entrada. En el trabajo de Fürbringer (1996) se encuentran detallados otros métodos de análisis de sensibilidad, como la combinación del método de MonteCarlo con el método de diseño factorial para extraer mayor información estadística, el de Plackett y Burman que se utiliza cuando el número de variables de entrada es mayor que 100 y permite estudiar el efecto de N variables de entrada realizando N+1 corridas del modelo; el de Sobol, que estudia el efecto lineal o no lineal de variables o grupos de variables de entrada y técnicas estadísticas, y otros.

En el presente trabajo se aplicó el análisis de sensibilidad al modelo térmico de SIMEDIF (Flores Larsen y Lesino, 2001a; 2001b) para estudiar sensibilidad individual y global de las temperaturas media, máxima y mínima. Se utilizó como “caso base” un edificio de un único local en un periodo de invierno. Las conclusiones obtenidas para dicho edificio pueden generalizarse a casos más complicados. Para la estimación de sensibilidad individual se utilizó el método diferencial. Dicho método se aplicó también para obtener una estimación de la sensibilidad global, encontrándose que el modelo no verifica el principio de superposición con total exactitud, con lo cual el método diferencial sólo entrega un valor aproximado de sensibilidad global. Para estimarla con mayor exactitud se aplicó el método de MonteCarlo.

¹ Trabajo financiado por ANPCYT PICT 2000 N°13-09991 y por CIUNSa N°1088 y N°1332.

² Becaria de CONICET.

SENSIBILIDAD INDIVIDUAL: METODO DIFERENCIAL

Breve descripción del método diferencial

Permite estudiar directamente la variación de las salidas a cambios en las variables de entrada. En determinados casos, en que el modelo verifica las hipótesis de superposición y linealidad, es posible calcular la sensibilidad global debido a cambios simultáneos en las I variables de entrada (Lomas y Eppel, 1992). El método consiste en variar un parámetro de entrada por vez, manteniendo fijas las restantes entradas en valores predeterminados (“caso base”). El efecto individual ΔT_i en la salida debido al cambio Δi en el parámetro i , se calcula como $\Delta T_i = T_i - T_B$, en donde T_B es la salida calculada para el “caso base” y T_i es la salida calculada cuando el parámetro i se varió en Δi .

Para calcular la sensibilidad global, se parte de la hipótesis de que todos los parámetros de entrada se varían en la misma cantidad. Esta cantidad es 2.33σ , en donde σ es el desvío standard. Tomando este valor, la distribución normal indica que el 98% de los casos se encontrarán dentro de dicho intervalo. Entonces la sensibilidad global ΔT_{global} debida a cambios simultáneos en todas las entradas puede estimarse a sumando en cuadratura las influencias individuales de cada uno de los parámetros de entrada:

$$\Delta T_{global} = \sqrt{\sum_{i=1}^I \Delta T_i^2} \quad (1)$$

Suponiendo que la salida tiene una distribución gaussiana, ΔT_{global} da el intervalo de confianza global expresado como 2.33σ . Como ya se mencionó, es importante recordar que ΔT_{global} es estrictamente correcto sólo si los parámetros individuales son independientes entre sí, es decir, el modelo verifica la propiedad de superposición. Aunque esto no siempre es cierto, para cambios arbitrariamente pequeños de las variables de entrada, esta hipótesis se verifica.

Para utilizar este método, el proceso consiste en:

1. Seleccionar la variable de entrada a perturbar y la magnitud de la perturbación.
2. Modificar dicha variable en el programa, realizar el cálculo y almacenar los resultados.
3. Calcular ΔT_i en base a la diferencia entre el “caso base” y el caso perturbado.

Estos tres pasos deben repetirse para cada una de las variables de entrada.

Método diferencial aplicado a SIMEDIF

Para poder realizar el estudio, se eligió como “caso base” una construcción pasiva aislada de un único local, de 25m^2 de área, paredes y techo aislados con 5cm de poliestireno expandido, una ventana de 5m^2 y una puerta de madera de 1.4m^2 . Las paredes se supusieron de ladrillo macizo de 30cm de espesor, con aislación en el centro. La ventana posee vidrio simple con postigones para aislación nocturna. Se tomaron datos meteorológicos correspondientes a un día típico de invierno de junio, en la ciudad de Salta (temperaturas máxima, media y mínima de 17.6°C , 10.4°C y 4°C respectivamente). Se supuso que la radiación directa que ingresa por la ventana se acumula únicamente en el piso. La velocidad media de viento para la ciudad de Salta en el mes de junio es de 5 km/h (1.4m/s), lo cual corresponde a coeficientes complexivos de convección-radiación exteriores de $11\text{ W/m}^2\text{C}$ (Duffie Beckman, 1991). Las renovaciones horarias de aire se estimaron mediante el método de rendija (Carrier, 1974), suponiendo carpintería normal en la puerta y en la ventana. Para este caso, tenemos renovaciones horarias entre 1.5 y 2.5, con un valor medio de 2. Para el “caso base”, los valores de cada parámetro de entrada estudiado se indican en la columna “Valor medio” de la Tabla 1. En dicha tabla se encuentran también los valores máximos y mínimos adoptados en cada entrada, los cuales han sido estimados de acuerdo a desviaciones comunes que puede utilizar un usuario con cierto nivel de experiencia al suponer valores para los parámetros.

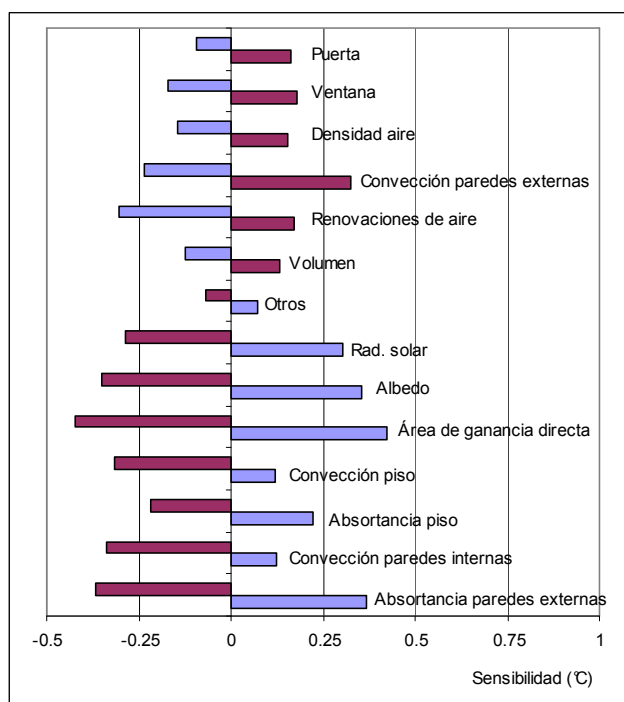
Los parámetros pueden dividirse en dos grupos:

- a) Especificaciones del diseño del edificio: Volúmenes, áreas, absortancias de superficies, orientación (azimut, pendiente de paredes, etc).
- b) Especificaciones del “escenario” en que se simulará el edificio: Renovaciones horarias de aire, coeficientes convectivos, condiciones meteorológicas, uso del edificio.

Un conjunto de parámetros (grupo 1) de la Tabla 1, al tomar sus valores máximos provocan que la temperatura del local se eleve en todas las horas del día. Este es el caso, por ejemplo, de la absortancia de las paredes: a mayores absortancias, mayor será la temperatura del local. Un segundo conjunto (grupo 2) funciona a la inversa, es decir, provocan que la temperatura del local se eleve cuando toman sus valores mínimos. Este es el caso, de las renovaciones horarias de aire: mientras menores son dichas renovaciones, más estanco es el local y mayor es su temperatura. Un tercer conjunto (Grupo 3) no puede ser catalogado en ninguno de los grupos anteriores, puesto que en determinadas horas del día aumenta la temperatura del local y en otras la disminuye. Tal es el caso de los coeficientes convectivos interiores de paredes no asoleadas. Las temperaturas ambiente media, máxima y mínima se incluyen en el grupo 3. Cuando varían estos valores de temperatura ambiente, SIMEDIF debe modificar la forma que entrega el modelo senoidal-exponencial para climas secos y no siempre es posible encontrar una curva que ajuste aceptablemente los valores ingresados.

Tabla 1: Variables que se incluyeron en el estudio por método diferencial.

	Variable	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	Grupo
Edificio	Volumen del local	45	50	55	2
	Renovaciones horarias de aire del local	1.5	2	2.5	2
	Azimut norte	175	180	185	1
Paredes	Área de la pared Norte	3.24	3.6	3.96	2
	Absortividad de paredes exteriores	0.55	0.725	0.9	1
	Coef. Convectivo de paredes interiores	3	6	9	3
	Coef. Convectivo de paredes exteriores	10	12	14	2
	Área de radiación pared exterior Norte	3.24	3.6	3.96	1
	Área de radiación pared exterior Sur	9	10	11	1
	Área de radiación pared exterior Este	9	10	11	1
Piso	Área de piso	22.5	27	27.5	3
	Absortividad del piso	0.65	0.725	0.8	1
	Coef. Convectivo piso	3	6	9	1
	Área de ganancia directa	4	5	6	1
Puerta	Alto	1.9	2	2.1	2
	Ancho	0.6	0.7	0.8	2
	Coef. Descarga	0.65	0.7	0.75	2
	Conductancia	2.3	2.6	2.9	3
	Coef. Convectivo interior	3	6	9	3
	Coef. Convectivo exterior	10	12	14	2
Ventana*	U_{noche} ventana	2.4	2.8	3.2	2
	kL del vidrio	0.04	0.07	0.1	2
Entorno y clima	Albedo suelo	0.2	0.3	0.4	1
	Densidad del aire	0.95	1.05	1.15	2
	Temp. Máxima	17.1	17.6	18.1	3
	Temp. Media	9.9	10.4	10.9	3
	Temp. Mínima	3.5	4	4.5	3
	Rad. Sup. Horizontal	9	9.5	10	1



* U_{noche} : coeficiente global de pérdidas nocturno de la ventana con postigones; kL del vidrio: producto del coeficiente de extinción k (Duffie y Beckman, 1991) y el espesor L del vidrio.

Figura 1: influencia de los parámetros de entrada de SIMEDIF en la temperatura media de la vivienda.

En la Figura 1 se encuentran los resultados de las simulaciones variando independientemente los parámetros de los grupos 1 y 2, que son los que provocan aumentos o disminuciones definidas de la temperatura. La variable "Puerta" incluye alto, ancho y coeficiente de descarga; la variable "Ventana" incluye el producto kL y el coeficiente de pérdidas U_{noche} , mientras

que la variable “Otros” engloba la influencia del área soleada de las paredes, la variación con respecto al Norte del azimut y el área de la pared Norte. Dentro del grupo 1, los parámetros más importantes son el área de ganancia directa, la absorptancia de las superficies exteriores, el albedo y la radiación solar sobre superficie horizontal, mientras que en el grupo 2 los más importantes son las renovaciones horarias de aire y los coeficientes convectivos exteriores (directamente ligados a la velocidad de viento). Como ejemplo, un error de $\pm 1\text{m}^2$ en el cálculo del área de ganancia directa repercute en la temperatura media interior en $\pm 0.4^\circ\text{C}$.

Cálculo de la sensibilidad global mediante el método diferencial

Para poder utilizar la ecuación (1) para calcular la sensibilidad global, primero debe verificarse que el modelo, bajo los límites máximos y mínimos impuestos, verifique el principio de superposición. Para ello, se varió cada uno de los parámetros del grupo 1 en forma independiente, calculando la contribución ΔT_i al aumento de la temperatura del caso base. Se sumaron todas las contribuciones al caso base y se comparó la temperatura obtenida con la temperatura calculada variando todos los parámetros del grupo 1 *simultáneamente*. La misma metodología se aplicó para los parámetros del grupo 2, obteniéndose las temperaturas horarias que se observan en la Figura 2. La diferencia entre las dos curvas superiores (grupo 1) es del orden de 0.5°C , siendo del mismo orden la diferencia entre las dos curvas inferiores (grupo 2). Se puede concluir que el modelo, para los máximos y mínimos utilizados, verifica el principio de superposición en forma aproximada. Si se hubieran utilizado límites más amplios (por ejemplo, coeficientes convectivos exteriores entre 6 y $16\text{W/m}^2\text{C}$), las curvas se hubieran separado aún más y el principio de superposición ya no sería aplicable. La utilización de límites más estrictos permitiría la determinación de la sensibilidad global con mayor exactitud, pero no serían reflejo de los valores que usualmente manejan los usuarios. Es por esta razón que la estimación de la sensibilidad global mediante este método no será completamente exacta.

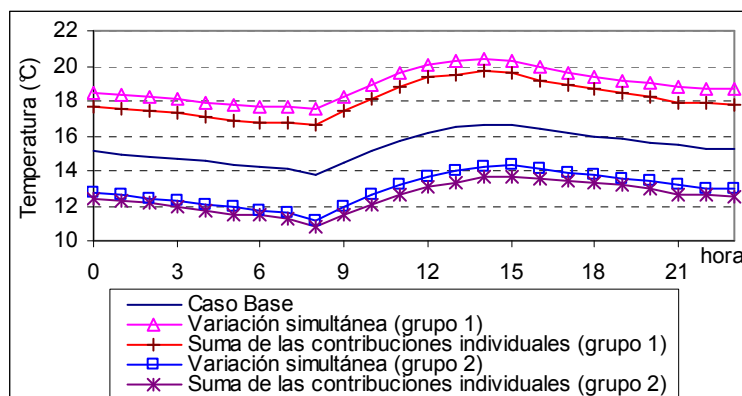


Figura 2: verificación del principio de superposición.

La aplicación de la ecuación (1) permite obtener un valor de sensibilidad diferente para cada hora del día. En un promedio diario, la sensibilidad global resulta ser $\Delta T_{global} = 1.3^\circ\text{C}$, es decir, que la temperatura estará dada, *aproximadamente*, como $T_B \pm 0.65^\circ\text{C}$. El método diferencial no provee información sobre interacción entre variables de entrada, lo cual se refleja en la no verificación del principio de superposición y en la menor exactitud a la hora de calcular la sensibilidad global. Debido a ello, se describe a continuación el método de MonteCarlo, que si bien no brinda información sobre las sensibilidades individuales y requiere el uso de algoritmos y programación adicional mucho, es más exacto y confiable que el método diferencial. El uso complementario de ambos métodos es la herramienta ideal para obtener la información individual y global de las variables de entrada.

SENSIBILIDAD GLOBAL: MÉTODO DE MONTECARLO

En el método de MonteCarlo los valores que toman las variables de entrada se eligen de forma aleatoria. Se asocia una probabilidad de distribución a cada variable de entrada, que está relacionada con la calidad de la información que posee el usuario. Los datos obtenidos de cada simulación son guardados para luego ser analizados para extraer información estadística. Usualmente, interesa la probabilidad de distribución de la/s salidas, sus valores medios y sus desvíos estándar. Para un número grande de variables de entrada, cualquiera sean sus distribuciones de probabilidad, se espera que la salida posea una distribución aproximadamente normal o gaussiana. Las estimaciones de los intervalos de confianza de la media y la desviación standard se basan en esta hipótesis. En el trabajo de Fürbringer y Roulet (1995) se encuentra analizada la relación entre el número de simulaciones y los intervalos de confianza de la media y la desviación standard, encontrándose que después de 60-80 simulaciones la mejora en la exactitud es poco significativa. Como este comportamiento es independiente del número de parámetros de entrada, esto hace que la exactitud del método de MonteCarlo sea totalmente dependiente del número de simulaciones.

La Figura 3 muestra la convergencia del desvío standard al incrementarse el número de simulaciones. Se ve que después de 60 simulaciones el desvío standard de la temperatura media, máxima y mínima ya se encuentra dentro del intervalo de confianza. En este trabajo, se trabajó con 200 simulaciones.

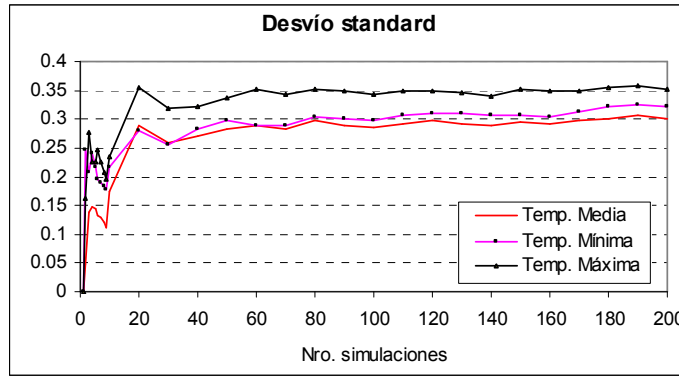


Figura 3: convergencia del desvío standard σ al aumentar el número de simulaciones en el método de MonteCarlo.

Para aplicar el método de MonteCarlo se supuso que cada una de las variables de entrada tiene una distribución del tipo gaussiana, en donde los máximos y los mínimos corresponden al intervalo de confianza 2.33σ , es decir, que el 98% de los casos caen entre estos límites. Para generar un conjunto de variables de entrada en donde cada una toma un valor aleatorio cuya probabilidad tiene una forma gaussiana, se utilizó el siguiente algoritmo (Lomas y Eppel, 1992):

$$r_n = S \operatorname{seno}\left(\frac{\pi}{2} r_1\right) \sqrt{2 \ln\left(\frac{1}{r_2}\right)} \quad (2)$$

en donde r_1 y r_2 son números aleatorios que verifican $r_1 \geq 0$, $1 \geq r_2$ y S es el signo aleatorio. Los números aleatorios r_1 y r_2 se generaron mediante una función especial de VisualBasic, denominada Rnd().

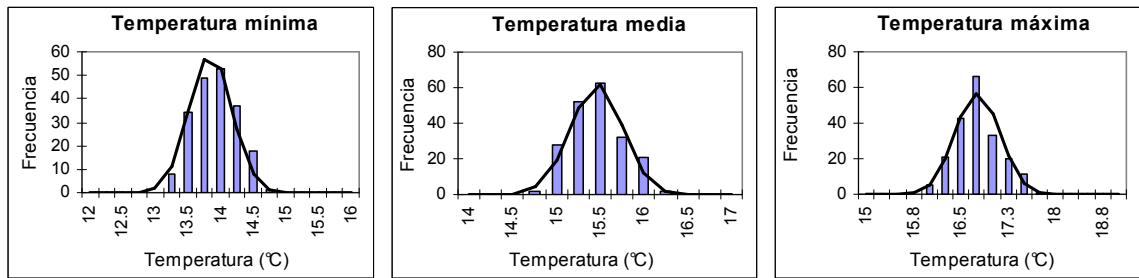


Figura 4: Histogramas para las temperaturas mínima, media y máxima.

Tabla 2: parámetros característicos de las distribuciones normales de temperatura media, máxima y mínima de la Figura 4

	Media	Desvío standard σ	Intervalo de confianza 2.33σ	Varianza σ^2
Temperatura mínima	13.8	0.3	0.7	0.1
Temperatura media	15.5	0.3	0.7	0.1
Temperatura máxima	16.8	0.3	0.8	0.1

El procedimiento se resume en generar un conjunto de valores aleatorios para las 29 variables de entrada de la Tabla 1 y realizar la simulación horaria de temperatura para este conjunto de entradas. El proceso se repite 200 veces, con lo que para cada hora se tienen 200 resultados distribuidos según una campana de Gauss. A efectos de simplificar el análisis no se estudió la temperatura horaria, sino que se determinó para cada simulación la temperatura media, mínima y máxima y se realizaron los histogramas correspondientes. A modo de ejemplo, el histograma de la temperatura media (Figura 4) indica que de las 200 simulaciones, 63 dieron como resultado una temperatura media de 15.5°C, 52 dieron como resultado 15.25 y 32 simulaciones resultaron en 15.75°C. Se pueden aproximar los resultados obtenidos para la temperatura mínima, media y máxima mediante una distribución normal (línea sólida en la Figura 4).

En la Tabla 2 se encuentran los parámetros característicos de las distribuciones normales de la Figura 4 (valor medio, varianza σ^2 , desvío standard σ e intervalo de confianza 2.33σ), estimados a partir de los histogramas. Del análisis de esta tabla se concluye que las temperaturas media, máxima y mínima se pueden determinar con un error de $\pm 0.7^\circ\text{C}$, que corresponde a un intervalo de confianza de 2.33σ (nivel de confianza del 98%). El valor obtenido mediante este método es muy cercano al obtenido con el método diferencial, pero en este caso existe la seguridad de que las interacciones entre variables han sido tenidas en cuenta. Si se trabaja con otros límites para las variables de entrada, el método de MonteCarlo sigue siendo el más exacto para calcular la sensibilidad global, mientras que el método diferencial sigue siendo el más adecuado para determinar sensibilidades individuales.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se aplicó el análisis de sensibilidad al modelo térmico de SIMEDIF para estudiar sensibilidad individual y global de las temperaturas media, máxima y mínima. Se utilizó como “caso base” un edificio de un único local en un periodo de invierno. Las conclusiones obtenidas para dicho edificio pueden generalizarse a casos más complicados. Para la estimación de sensibilidad individual se utilizó el método diferencial. Dicho método se aplicó también para obtener una estimación de la sensibilidad global, encontrándose que el modelo no verifica el principio de superposición con total exactitud, con lo cual el método diferencial sólo entrega un valor aproximado de sensibilidad global. Para estimarla con mayor exactitud se aplicó el método de MonteCarlo. El uso complementario de ambos métodos es la herramienta ideal para obtener la información individual y global de las variables de entrada.

El análisis indica que las variables que afectan significativamente la temperatura interior de la vivienda son las relacionadas directamente con la ganancia solar (área de ganancia directa, absorción de superficies exteriores, albedo y radiación solar sobre superficie horizontal) y con los efectos del movimiento de aire en el interior y en el exterior (renovaciones horarias de aire y coeficientes convectivos exteriores). El analista o simulador debe tener especial cuidado el momento de estimar los valores que utilizará para estas variables de entrada, pues estimaciones groseras pueden producir cambios significativos en el comportamiento térmico de la vivienda.

Dentro de los márgenes de variación estudiados, que son lo suficientemente grandes como para incluir a la mayoría de los casos habituales, se puede concluir que las temperaturas media, máxima y mínima se calculan dentro de un margen de error de $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$.

Un aspecto interesante a tener en cuenta en futuros trabajos es que los histogramas muestran distribuciones cuasi-normales, con lo que sería significativo realizar una prueba χ^2 de normalidad. Puede suceder que estas salidas fallen en esta prueba con el 10% de probabilidad, lo cual significaría que la hipótesis de que las temperaturas media, máxima y mínima pueden ser descritas por una curva gaussiana debe considerarse con precaución, teniendo en cuenta que los intervalos de confianza se calculan en base a esta hipótesis gaussiana.

Como comentario final, es interesante destacar que la integración de un módulo de análisis de sensibilidad a herramientas de simulación es el modo correcto de producir herramientas de simulación robustas y confiables, si bien no es lo que usualmente se encuentra en los programas utilizados en la actualidad. La incorporación de este tipo de información a las simulaciones permitiría al usuario determinar las consecuencias de las inexactitudes de las entradas y conocer los intervalos de confianza de los datos de salida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrier Air Conditioning Co., Manual de aire acondicionado. Marcombo Editores, Barcelona, 1974
- Duffie A. y Beckman W. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, Inc.
- Fürbringer J.-M., Roulet C.-A.: Comparison and combination of factorial and Monte Carlo design in sensitivity analysis. *Building and Environment*, Vol. 30, No.4, pp. 505-519, 1995.
- Fürbringer J.M., 1996, Sensitivity análisis for modellers. *Air Infiltration Review*, Volume 17, No 4, September 1996, World Wide Web Edition, http://www.aivc.org/frameset/frameset.html?./Air/17_4/sam.html~mainFrame.
<http://sensitivity-analysis.jrc.cec.eu.int/default2.asp?page=wwh>
- Lomas K.J., Eppel H. Sensitivity análisis techniques for building thermal simulation progrms. *Energy and Buildings* 19, pp. 21-44, 1992.
- Mood A. M., Graybill F.A. Introducción a la teoría de la Estadística. Ed. Aguilar, 1978.
- Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2001a). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, N° 9, pp.15-24.
- Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2001b). A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings. Lesino. Seventh International IBPSA Conference On Building Simulation, agosto de 2001, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 75-82.

SENSITIVITY ANALYSIS OF SIMEDIF CODE THROUGH MONTECARLO AND DIFFERENTIAL METHODS

ABSTRACT: Sensitivity analysis deals with the influence of input variables on the outputs of a model. In this paper, sensitivity analysis was applied to the thermal model of SIMEDIF, a code to simulate transient thermal behavior of buildings. Thus, individual sensitivities (describing how variations in individual inputs modifies the outputs of a model) and global sensitivity (describing the interaction between inputs) were studied. MonteCarlo and differential methods were used. Differential method was found to be the most appropriate to estimate individual sensitivities, but only a rough estimation of global sensitivity was obtained, because the thermal model is quasi-superposable. More accurate estimations of global sensitivity and confidence intervals for maximum, mean, and minimum daily temperatures, were obtained with MonteCarlo method.

Keywords: sensitivity analysis, differential method, MonteCarlo, SIMEDIF.