
HERRAMIENTAS PARA DISEÑO SUSTENTABLE: GUÍAS PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARQUITECTURA

EVANS, John Martin; de SCHILLER, Silvia

evansjmartin@gmail.com, sdeschiller@gmail.com

Maestría Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo, Facultad de
Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires

Resumen

Los ámbitos profesionales y académicos requieren herramientas para evaluar las decisiones de diseño en etapas tempranas del proceso proyectual. El acceso a herramientas sencillas y amigables es especialmente importante en proyectos de escala doméstica donde el proyectista tiene limitada posibilidad y presupuesto para incorporar consultores especializados en eficiencia energética y sustentabilidad en arquitectura. La aplicación de herramientas permitirá seleccionar recursos de diseño que promuevan eficiencia energética, confort térmico y reducción de emisiones de gases efecto invernadero y lograr una efectiva integración en el proyecto.

En ese marco, este trabajo presenta cuatro herramientas complementarias desarrolladas para el uso de proyectistas en las etapas iniciales de diseño, basadas en planillas electrónicas que incorporan bases de datos, de las cuales el proyectista elige variables de listas desplegables para evaluar las propuestas y las alternativas de diseño.

La primera herramienta permite detectar las estrategias de diseño bioambiental según los datos climáticos de la localidad y visualizar la eficacia de combinaciones de estrategias.

La segunda herramienta permite evaluar las temperaturas interiores en edificios con acondicionamiento natural según las variables de diseño, las características constructivas, el equipamiento, el uso y ocupación del espacio.

La tercera herramienta indica el rendimiento de colectores solares según la tecnología adoptada, el diseño y dimensionamiento, según la demanda de agua caliente, el recurso solar y las condiciones climáticas usando la base de datos incorporados, Además indica la reducción en la demanda de energía convencional y la reducción en emisiones.

La última herramienta indica el aporte de módulos fotovoltaicos en instalaciones de generación distribuida, con sistemas conectadas a la red eléctrica convencional.

Se comparan los resultados con herramientas más complejas para verificar su aporte efectivo y uso amigable en proyectos.

Palabras clave

Diseño bioambiental, Temperatura interior, Datos meteorológicos, Amplitud térmica, Simulación

Introducción

La arquitectura, desde el tratado de Vitruvio y posteriormente de Palladio (1554), ha contado con recomendaciones para lograr una adecuada relación con el clima de su emplazamiento y lograr buenas condiciones de habitabilidad según las proporciones edilicias. El estudio de las distintas épocas de la historia del arte también refiere al impacto del clima y la manera de controlar las condiciones ambientales, tanto por el diseño como por las instalaciones (Banham, 1969). Con el desarrollo de la arquitectura moderna y la aplicación del método científico, se han desarrollado métodos sistemáticos para identificar los recursos de diseño, apropiado para las condiciones climáticas, incluyendo los climas cálidos de los países en vías de desarrollo (Olgyay, 1963 y 1998, Koenigsberger, et al, 1974 y 1977; Givoni, 1977).

Inicialmente, estos métodos se basaron en las 'reglas del arte' desarrolladas por un proceso de prueba y error en localidades definidas. Posteriormente, con la introducción de nuevos métodos constructivos e innovaciones de diseño, se

fueron desarrollando herramientas gráficas, aplicables a edificios residenciales, educativos, de salud y de uso comercial o público, para el acondicionamiento natural en un amplio rango de condiciones climáticas. Estas técnicas incluyen herramientas para el diseño de protección solar, acceso al sol invernal a escala edilicia y urbana, iluminación natural en aulas y oficinas, ventilación natural en edificios para la salud, etc. Después, con el desarrollo de la computadora, se implementaron programas de mayor complejidad, inicialmente con interfaces poco amigables que requieren conocimientos especializados.

Con el correr del tiempo, se han desarrollado suites de programas o programas integrados de fácil manejo y salidas gráficas que facilitan la interpretación, tales como Ecotect (Marsh, 2000). Hoy, frente a la creciente amenaza del cambio climático y calentamiento global, se confirma la importancia de nuevas demandas para desarrollar y aplicar herramientas que permitan reducir la demanda de energía convencional e incorporar energías renovables en arquitectura.

Por otro lado, las dificultades para incorporar herramientas de diseño ambiental en las etapas iniciales de diseño limitan su uso por parte de los proyectistas.

El desarrollo de instalaciones de acondicionamiento artificial y la disponibilidad de energía convencional a precios muy accesibles, aun ante su evidente disminución, permiten mayor dependencia del control mecánico de las condiciones ambientales, aparentemente librado al proyectista de las aparentes limitaciones de diseño requeridas para lograr acondicionamiento natural.

Durante treinta años de experiencias profesionales y académicas en la promoción de acondicionamiento natural y el desarrollo y aplicación de herramientas de diseño, se ha detectado la necesidad de difundir técnicas sencillas de evaluación de proyectos y de conceptos iniciales de diseño. Ello permite optimizar el proceso proyectual y evitar cambios en etapas posteriores cuando el especialista o instalador define los detalles en las etapas de documentación y dimensionamiento del proyecto y sus instalaciones.

En ese marco, este trabajo presenta el desarrollo y características de herramientas de diseño para la promoción de eficiencia energética en edificios a través del acondicionamiento natural y el dimensionamiento de sistemas solares en arquitectura, especialmente las nuevas instalaciones fotovoltaicas para generación de energía y colectores solares para calentamiento de agua.

Desafío

Varias herramientas fueron desarrolladas en el Centro de Investigación Hábitat y Energía de la SI-FADU-UBA y aplicadas en las materias de grado 'Introducción al Diseño Bioambiental', 'Introducción a la Arquitectura Solar' y 'Energía en Edificios'. Inicialmente, fueron elaborados como programas ejecutables que, posteriormente, se implementaron en forma de planillas electrónicas, con las siguientes ventajas:

- Muy compactas con mínimo espacio de almacenamiento.
- Fuente abiertos 'open source' con posibilidad de modificación sin reprogramación.
- Facilidad de uso, con una interfaz de rápido aprendizaje .
- Permite envío por correo electrónico, a diferencia de los programas ejecutables.

En los últimos años se enfrentan nuevos desafíos y demandas para responder a la creciente urgencia de reducir las emisiones de gases efecto invernadero y conservar las fuentes de energía convencional, situación que requiere implementar dos nuevas líneas de avance:

Por un lado, se necesita contar con la evaluación del uso de energía empleada en el acondicionamiento térmico, tanto para calefacción invernal como para moderar la creciente demanda de enfriamiento estival. Esto requiere un cambio profundo de enfoque y la implementación de diferentes métodos de cálculo. Convencionalmente, se realizó la evaluación de los flujos de calor en régimen estacionario con diferencias de temperatura interior-exterior fijas y estables en el tiempo.

Esta simplificación, si bien facilita el cálculo y la comprensión de los principios del comportamiento térmico, no permite evaluar los beneficios de la inercia térmica de edificios y sus componentes constructivos.

En este contexto, es muy importante estimar el impacto de la energía solar, el control de sobrecalentamiento estival y el comportamiento térmico de viviendas en climas de gran amplitud, de modo que los nuevos métodos de evaluación deben considerar flujos periódicos de calor con variaciones cíclicas de la temperatura exterior.

Por otro lado, la promoción de sistemas de aprovechamiento de energía solar a través de módulos fotovoltaicos y colectores solares recibe un impulso a través de nueva legislación que permite contar con generación distribuida, el aumento de las tarifas de energía convencional y la reducción en costos de los módulos fotovoltaicos, FVs.

Para realizar una evaluación inicial y estimar la superficie necesaria de dichos módulos, el proyectista requiere una herramienta de fácil y rápida aplicación en las etapas iniciales de diseño, independiente de los asesores especializados o vendedores de equipos en el mercado.

A continuación, se presenta una serie de cuatro herramientas que permiten responder a este desafío.

Herramientas de diseño

Las siguientes herramientas desarrolladas en este contexto tienen el objetivo de facilitar estudios en la etapa inicial de diseño, cuando el proyectista tiene limitados datos y requiere respuestas rápidas. A continuación, se presenta las herramientas de apoyo al diseño, con énfasis en su contribución a la sustentabilidad en arquitectura.

triángulos.xls

La planilla facilita la selección de combinaciones de los recursos de diseño bioambiental en las etapas iniciales de proyectos según las condiciones climáticas del sitio o localidad del proyecto.

e-temp.xls

Esta planilla permite simular y evaluar las temperaturas interiores para promover confort y evitar sobrecalentamiento en locales con ganancias solares y impactos de la temperatura exterior y las ganancias internas, según las variables de diseño y características de los elementos constructivos.

e-colector.xls:

La planilla indica aporte de energía solar al calentamiento de agua con la fracción solar según el diseño, dimensionamiento y tecnología de la instalación, la demanda de agua, la variación anual de temperatura exterior y el recurso solar. También indica la reducción en emisiones de gases efecto invernadero y el ahorro económico en uso.

e-fv.xls

La planilla calcula la generación anual de electricidad renovable y el rendimiento anual de módulos fotovoltaicos según las variables de diseño, superficie, orientación, inclinación e integración, características de la tecnología empleada, la radiación solar disponible y la variación anual de la temperatura exterior.

Triángulos.xls

Esta planilla, tal como muestra la Figura 1, permite visualizar los datos climáticos con los valores de promedios mensuales máximos y mínimos de temperatura en relación con las condiciones deseables de confort (Evans, 2007).

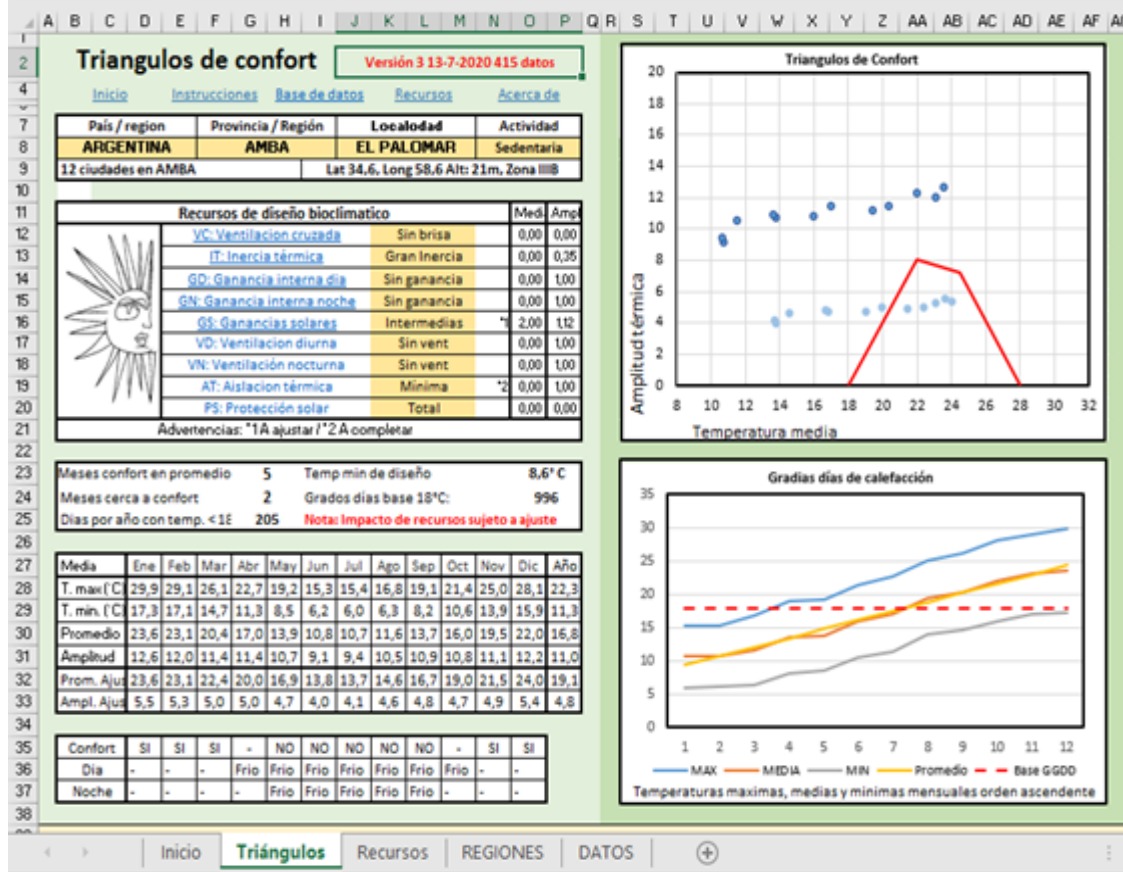
Se define la zona de confort en relación con la combinación de la temperatura media y la amplitud térmica, utilizando datos diarios o promedios mensuales. La planilla facilita la selección de los datos climáticos clave de 130 localidades en Argentina y 300 localidades en América Latina y otras regiones del mundo. Con la visualización inicial, se pueden seleccionar recursos de diseño que modifican las condiciones climáticas exteriores, considerando que la envolvente edilicia actúa como filtro modificador. De esta manera, el proyectista puede incorporar soluciones apropiadas de diseño en las etapas iniciales de diseño. Ello se complementa con las recomendaciones de la Sección 2 de la Norma IRAM 11900 de etiquetado de eficiencia energética de vivienda.

La innovación de la planilla radica en la visualización de la tendencia de modificar las temperaturas interiores como resultado de la selección de una o varias estrategias de diseño en forma individual o conjunta. El proyectista puede seleccionar las alternativas de recursos de diseño que logren el mejor acercamiento a la Zona de Confort.

La planilla también proporciona una guía de las características de cada estrategia bioambiental y una serie de gráficos adicionales que indican distintas formas de visualizar el impacto del clima exterior y su relación con el confort:

1. **Grados días de calefacción:** un gráfico indica los grados días con base de 18° C, indicador de la demanda de energía de calefacción según la duración y severidad de la época de calefacción y la temperatura mínima de diseño.
2. **Temperaturas** con promedio y amplitud mensual en relación con la Zona de Confort Adaptativo con límites variables según tipo de actividad física.
3. **Zona de confort adaptativo** y temperaturas mensuales según la temperatura media mensual.

Figura 1. Planilla e-triángulos.xls



Sector de la planilla e-triángulos, desarrollo propio.

No es necesario ingresar datos numéricos, dado que la selección de variables de una lista desplegable en las casillas indicadas en amarillo. Las casillas superiores (B8-M8) permiten seleccionar del país, la región o provincia y la localidad. Con la selección de la localidad se obtiene los datos de temperatura almacenados en la base de datos de 420 estaciones meteorológicas. Otra casilla (N8) permite la selección del nivel de actividad física que modifica la extensión de la Zona de Confort.

La columna de casillas (K12 -K20) permiten seleccionar los recursos de diseño bioambiental, con alternativas, por ejemplo, las opciones de ventilación cruzada son 'sin ventilación', 'leve', 'ventilación mediana' y 'ventilación buena'. Con la selección de cada alternativa los gráficos indican visualmente la tendencia de modificación de las condiciones interiores, con puntos que indican la temperatura media y la amplitud térmica en cada mes, comparadas con las condiciones exteriores sin modificación.

Planilla e-temp.xls

Esta planilla, figura 2, evalúa la temperatura interna en locales con acondicionamiento natural, según las condiciones exteriores de temperatura y radiación solar y las condiciones interior de uso. También, permite evaluar la demanda de energía en locales con acondicionamiento artificial. La planilla indica en forma inmediata las consecuencias de la toma de decisiones de diseño tales como superficie de techos, muros y ventanas, orientación, composición de elementos constructivos en el envolvente e interiores, tipo de vidrio, ventilación, iluminación artificial, uso de artefactos, tipo de acondicionamiento térmico y su eficiencia, número de ocupantes, nivel de actividad y horas de uso.

Las bases de datos incorporadas en la planilla incluyen:

- Datos mensuales de temperatura y radiación solar de 20 localidades de la República Argentina,
- Características térmicas de muros, techos y pisos, transmitancia térmica, admitancia y factor de moderación de la temperatura.
- Alternativas de iluminación artificial con su respectivo nivel de eficiencia.
- Generación de calor metabólico, según la actividad a desarrollar.

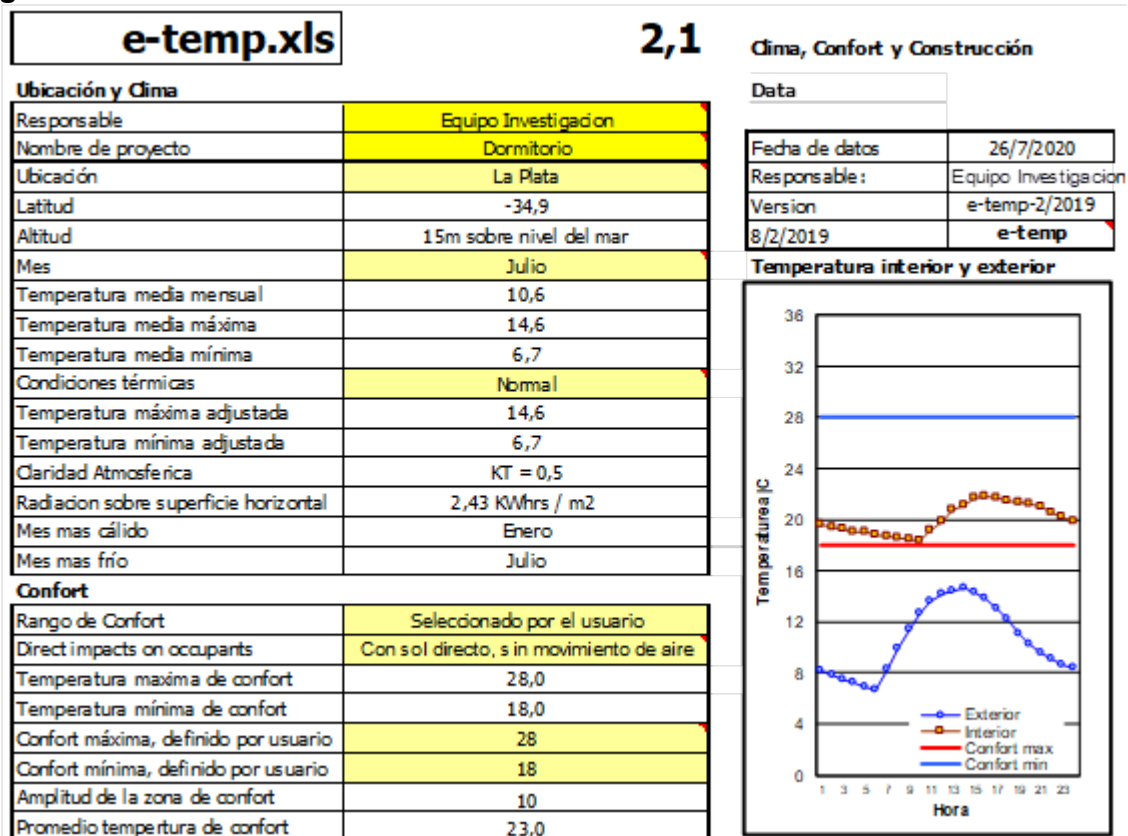
El objetivo de la planilla es evaluar las estrategias de diseño y construcción que contribuyan a reducir la demanda de energía requerida para calefacción o enfriamiento, evitar sobrecalentamiento estival y promover confort térmico por medios naturales. Para este fin, se utiliza el método de admitancia (Burberry, 1983) con modificaciones para ampliar y extender sus alcances.

En la planilla, el proyectista selecciona variables de listas desplegables y visualiza gráficos de la simulación de la temperatura interior horaria y demuestra su relación con la Zona de Confort. La planilla permite evaluar condiciones mensuales en distintas épocas del año.

Las secciones de ingreso de datos incluyen:

- Dimensiones del local: ancho, alto y profundidad. Se considera un local rectangular con muro y ventana exterior.
- Alternativas constructivas de techos, pisos y muros interiores y exteriores.
- Características de la ventana, orientación, tipo y tamaño de ventanas, marco y vidrios.
- Actividad realizada en los espacios, número de personas, nivel de actividad física y horas de ocupación.
- Tipo de lámpara y luminaria, niveles de iluminación y horas de uso.
- Otras ganancias internas de equipamiento y electrodomésticos según su potencia..

Figura 2: Planilla e-temp.xls; simulación de la variación diaria de la temperatura interior según diseño, construcción, actividades y otras ganancias internas.



Sector de la planilla e-triángulos, desarrollo propio.

Planilla e-colector.xls

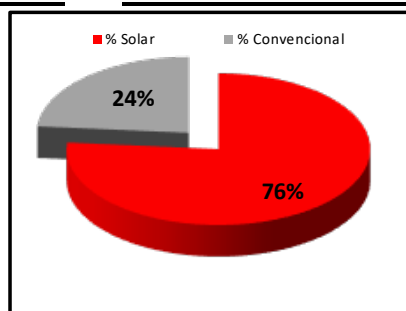
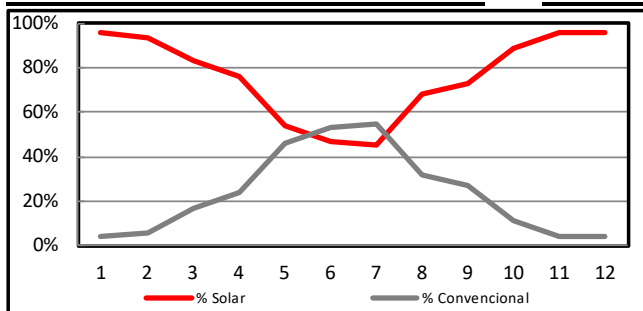
Esta planilla indica el rendimiento de colectores planos para el calentamiento de agua con el método f-chart (Duffie and Beckman, 1978) con la fracción solar, la proporción de energía total suministrada por el sistema solar. La planilla incorpora aportes adicionales para obtener los siguientes resultados:

- Evaluar la reducción anual en emisiones GEI de gases efecto invernadero, según factores de emisiones de gas y energía eléctrica.
- Estimar los beneficios económicos y energéticos de los colectores solares en uso.
- Analizar el impacto de artefactos auxiliares de gas y electricidad utilizados para el calentamiento de agua, según su eficiencia.

La planilla fue aplicada en proyectos de instalaciones solares en viviendas en 15 provincias, por equipos de IPV's, Institutos Provinciales de Vivienda, arquitectos y participantes de maestrías.

Figura 3: Planilla e-colector.xls; rendimiento de colectores solares para calentamiento de agua en instalaciones domésticas.

EVALUACION DEL APORTE DE ENERGÍA DE COLECTORES SOLARES			
e-colector	Agua Caliente	Vivienda:	Indentificación
Localidad	San Miguel, Gran Buenos Aires		Fecha
Numero de usuarios	4	Personas	Datos Localidad
Agua caliente / persona / día	50	Litros	Baja
Temperatura mínima de agua	46	° C	Latitud
Superficie de colectores	4	m ²	Longitud
Orientación colectores, azimut	60	°	Altura snm
Inclinación colectores	45	° del horizonte	Transparencia atmos
Tipo de colector	Vidrio simple+superficie selectiva		Características colector
Albedo techo	0,2	Normal	Kp = -5,1 Ko = 0,77
Circuito entre colector y tanque	Con	Intercambiador	T = 0,96 N° vidrios 1
Energía		kWh/año	Sistema auxiliar
Demanda neta energía anual	1680		Termotanque gas, Clase A
Energía solar útil anual	1283	Fracción solar	Eficiencia
Demanda anual no solar	397	76,4% anual	60%
Demanda anual gas con sol	662	Fracción Auxiliar	Energía convenciona
Demanda anual gas sin sol	2800	23,6% anual	Factor emision gm CO _{2e} /kWh
Instalación		Recomendado	Gas
Capacidad del tanque	200	200 litros	0,78
Tanque/colector: lts/m ²	50,0	50 -100 l	Elec
Inclinación de los colectores	45	Incl 35°-50°	0,69
Orientación de los colectores	60	20° del N	Precio, energía
			\$/m ³
			\$/kWh
			Ahorro anual - colectores
			Energía convencional
			76%
			Economico
			\$ 10.693
			Ahorro Gas
			2139 kWh
			Emissiones
			1668 kg/CO ₂



Sector de la planilla e-colecto.xls, desarrollo propio.

La planilla permite estimar la fracción solar, la proporción de energía solar en la demanda total, el ahorro económico anual y la reducción en emisiones de gases efecto invernadero.

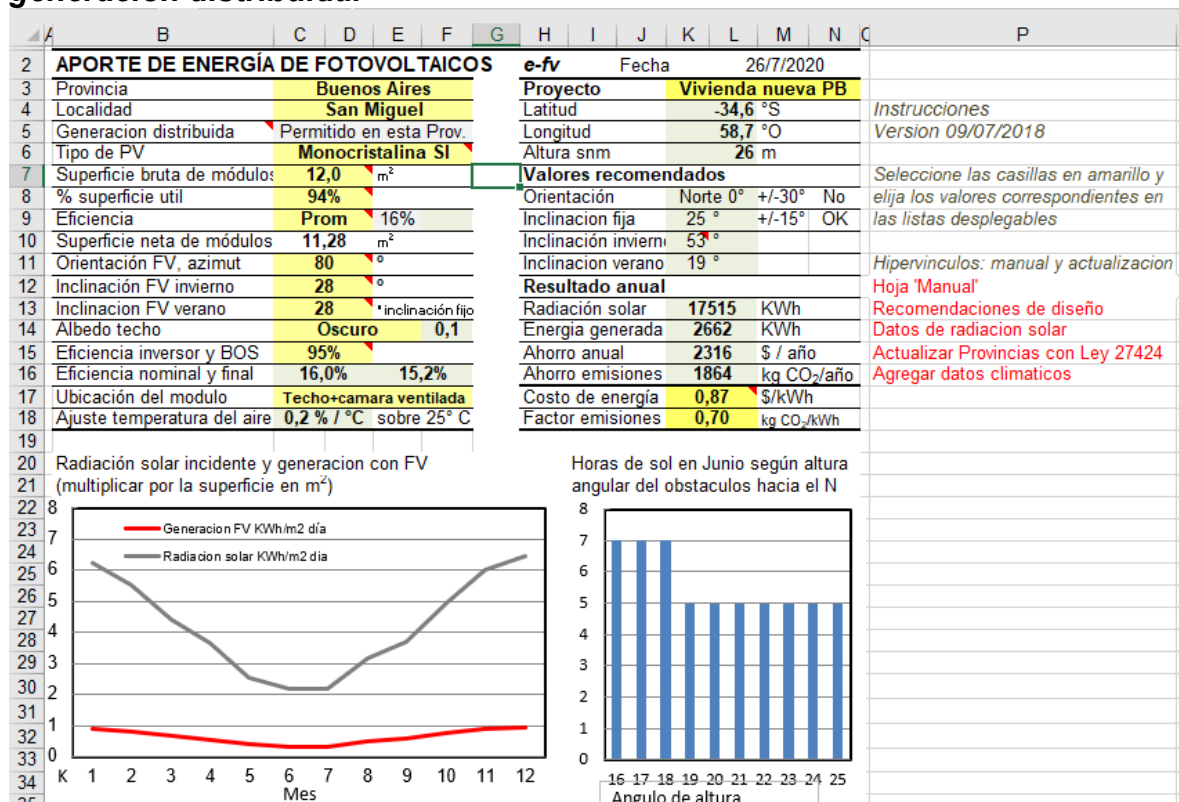
El proyectista puede seleccionar así las siguientes variables: localidad, número de personas y demanda de agua caliente, temperatura de agua caliente, superficie y tecnología del colector, orientación, superficie e inclinación del colector, y albedo del suelo y del techo frente al colector.

Planilla e-fv.xls

La última planilla, figura 4, indica el rendimiento de módulos fotovoltaicos, el valor económico de la electricidad generada, la reducción de emisiones y el espacio necesario frente al módulo para recibir adecuado acceso a la radiación solar. Como en las otras planillas, se seleccione las alternativas en las listas desplegables en cada una de las casillas indicadas en amarillo.

El desarrollo de esta planilla facilita el dimensionamiento de módulos fotovoltaicos y su integración en proyectos de arquitectura. Este instrumento permite seleccionar alternativas de orientación e inclinación según el rendimiento, evaluar los beneficios económicos y cuantificar los impactos ambientales.

Figura 4: Planilla e-fv.xls; rendimiento de módulos fotovoltaicos con generación distribuida.



Sector de la planilla e-colecto.xls, desarrollo propio.

El proyectista selecciona las siguientes variables correspondientes a su proyecto:

- Provincia y localidad.
- Superficie y tecnología del módulo fotovoltaico.
- Inclinación y orientación del módulo (con la posibilidad de adoptar la inclinación variable entre invierno y verano).
- Integración en el proyecto arquitectónico: aislado, apoyado con cámara de aire o integrado en el techo.
- Albedo del suelo o techo frente al colector.
- Actualización de datos de la tarifa eléctrica y factores de emisión.

Aplicación de las planillas

La suite de planillas complementarias fue desarrollada y mejorada durante varios años para su uso en proyectos de investigación, programas de promoción de viviendas energéticamente eficientes y en cursos de grado y posgrado. La experiencia obtenida en seminarios dictados en los últimos años supera 100 alumnos en maestría de Argentina, Panamá y Paraguay, con resultados muy favorables y propuestas de mejoras, ampliaciones y ajustes.

Conclusiones

Las experiencias con la aplicación de las planillas confirman su utilidad y facilidad de uso, tanto en la distribución a los usuarios como en la aplicación en proyectos y trabajos académicos. El uso de planillas electrónicas presenta múltiples ventajas a implementar en las etapas de desarrollo y programación, incorporación de bases de datos y presentación de gráficos. Las planillas, que pueden estar protegidas para evitar cambios inadvertidos por parte de los alumnos o usuarios, facilitan el análisis y evaluación de los algoritmos y las fórmulas utilizadas.

La facilidad de uso fue probada durante varios años de aplicación en cursos de maestrías y en aplicaciones en proyectos, varias a distancia. A diferencia de los programas complejas de simulación térmica, energética y lumínica, las planillas presentadas en este trabajo son amigable con el usuario de fácil aprendizaje.

El proceso de desarrollo está en revisión y ampliación constante para responder a los urgentes requerimientos de lograr edificios de menor impacto ambiental, reducir emisiones de gases efecto invernadero, minimizar los costos de la edificación en uso y proporcionar mejores condiciones de habitabilidad en el hábitat construido.

Reconocimientos

Las planillas fueron desarrolladas durante varios años en el marco de los Proyectos de Investigación UBACyT de Grupos Consolidados, promovidos y financiados por la SECyT, UBA, con sede en el CIHE, de la SI-FADU-UBA, a través de los cuales se realizaron aportes en docencia e investigación. A ello se suma el valor de su aplicación en programas de asesoramiento implementados en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable y en la Secretaría de Vivienda, en el marco del Proyecto GEF-Argentina.

Bibliografía

Banham, R. (1969). *The architecture of the well-tempered environment*, Architectural Press, London.

Burberry, P. (1983). *Ahorro de energía: Manuales A. J.*, Hermann Blume, Madrid.

Evans, J. M. (2003). Evaluating comfort with varying temperatures, a graphic design tool. *Energy & Buildings*, Vol. 35, pp 87-93.

Evans, J. M. y de Schiller, S. (1988) *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, EUDEBA, Editorial de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Evans, J. M. (2007). *The Comfort Triangles: A new tool for bioclimatic design*. Delft University of Technology, TUDelft, Delft.

Evans, J. M. y de Schiller, S. (2019). Integración de Instalaciones Fotovoltaicas en Arquitectura: Herramientas para Proyectistas, *Actas XLIII Reunión de Trabajo de ASADES*, Jujuy 2019, Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.

Givoni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*, Elsevier, London (2nd edition).

Koenigberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew A. and Szokolay, S. V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*, Editorial Paraninfo, Barcelona.

Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A. and Szokolay, S. V. (1974). *Manual of Tropical Housing and Building, Part 1. Climatic Design*, Longmans, London.

Muneer, T. (2004). *Solar radiation and daylight models for the energy efficient design of buildings*, Architectural Press, Oxford, Second Edition.

Olgay, V. (1963), *Design with Climate, bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton University Press, Princeton, N. J.

Olgay, V. (1998). *Arquitectura y Clima, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, GG Barcelona, 1998.

Roberts, A., and Marsh, A. J, (2001). ECOTECT: Environmental Prediction in Architectural Education, Conference Proceedings, 19th ECAADE - Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki.