

La simulación como herramienta de diseño. Propuesta y aplicación de una metodología para casos de estudio de San Miguel de Tucumán.

Simulation as a design tool. Proposal and application of a methodology for a case of study in San Miguel de Tucumán.

Raúl Fernando Ajmat

Filiación: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán. Instituto de Luz, Ambiente y Visión, Universidad Nacional de Tucumán.

Dirección: T4002BLR Av. Independencia 1800 San Miguel de Tucumán.

Correo: rfajmat@hotmail.com

María Victoria Longhini

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán. Instituto de Luz, Ambiente y Visión, Universidad Nacional de Tucumán.

Dirección: T4002BLR Av. Independencia 1800 San Miguel de Tucumán.

Correo: victoria_longhini@hotmail.com

José Domingo Sandoval

Filiación: Instituto de Luz, Ambiente y Visión, Universidad Nacional de Tucumán.

Dirección: T4002BLR Av. Independencia 1800 San Miguel de Tucumán.

Correo: jsandoval@herrera.unt.edu.ar

Código del manuscrito: 09_002

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

El presente trabajo estudia la influencia de la resolución formal de la ciudad de San Miguel de Tucumán en conjunto con la densificación progresiva del tejido urbano y de edificios de su Área Central, y su estrecha relación con el Código de Planificación Urbano. Se revisaron los lineamientos respecto de habitabilidad, salubridad y garantías de accesibilidad de energía solar, que propone el Código de Planificación Urbano y la influencia del mismo en el derecho al acceso de la energía solar.

Se propone un proceso de simulación sistematizado para analizar las consecuencias de la densificación, producto de la industria de la construcción en curso, aplicando una metodología para investigar los efectos reales de la puesta en práctica de las normas urbanísticas. Esta metodología permite el análisis del potencial de producción de energía limpia en superficies expuestas radiación solar, la pre-visualización y estudio de la habitabilidad de patios de edificios de gran altura y la verificación de legislaciones que necesiten ser revisadas a fin de dar una solución real y efectiva a problemas de diseño y habitabilidad.

Se desprende de esta investigación la propuesta de incluir la componente de captación de energía solar en los lineamientos del Código de Planificación Urbano, surge así la propuesta de proponer un Factor que integre contenidos del tipo solar, climático, factor de visión de cielo, entre otras. El trabajo plantea una nueva mirada de la Planificación Urbana, que entiende la incorporación del recurso solar como parte de una estrategia de diseño para la generación de un nuevo paisaje urbano. Una propuesta desde el saneamiento y la habitabilidad de Áreas urbanas que está siendo relegada en pos de los intereses económicos actuales.

Palabras claves: Simulación Urbana, Energía Solar, Radiación Solar, Planificación, Morfología.

Abstract

This paper studies the influence of the morphology resolution of the city of San Miguel de Tucumán added to the progressive densification of the urban plot and buildings of its Central Area, and its close relationship with the Urban Planning Code. The guidelines for habitability, sanitation and guarantees of solar energy accessibility were reviewed, proposed by the Planning Code and its influence on the right to access to solar energy. A systematized simulation process is proposed to analyze the consequences of densification, due to the advances of building industry and the effects of building regulations, applying a methodology to investigate the real effects of the implementation of the urbanistic norms. This methodology allows the analysis of the potential of clean energy production on surfaces exposed to solar radiation. The pre-visualization and study of the habitability of high-rise buildings and the verification of legislations that need to be revised in order to provide a solution Real and effective to design and habitability problems. It is clear from this research the proposal to include the solar energy component in the guidelines of the Urban Planning Code. It is proposed the idea of a Solar Factor which includes contents of the solar, climatic, sky view factor, among others. A new point of view of Urban Planning, which understands the incorporation of the solar resource as part of a design strategy for the generation of a new urban landscape, a proposal from the sanitation and habitability of Urban Areas that is being relegated to the post prevailing economic interests.

Keywords: Urban Simulation, Solar Energy, Solar Radiation, Planning, Morphology.

Introducción

En los últimos 10 años se ha tratado de repensar las estrategias acerca de la planificación urbana, apuntando a ciudades con aprovechamiento energético pleno de sus recursos naturales: captación solar, contaminación cero, reducción de recursos fósiles y emisiones CO², etc. El camino hacia el desarrollo de energías renovables y limpias, como la captación solar entre otras, es una solución factible, viable y a desarrollar. El presente trabajo abarcó una serie de problemáticas referidas al estudio de la morfología urbana y su incidencia en el aprovechamiento de luz natural, las cuáles pueden ser las pautas de diseño, políticas de estado y legislaciones que beneficien a una planificación urbana solar, en pos de mejorar las condiciones de: habitabilidad, acceso a la luz natural, captación de radiación, etc., promoviendo el aprovechamiento de energía solar en áreas urbanas o sectores de edificios.

Los procesos de cambio climático inminentes han dado lugar a la necesidad de poner énfasis en la realización de estudios para dar solución a los problemas que éste conlleva. El desarrollo sostenible y una planificación urbana eficiente son dos de los temas más preocupantes, desarrollados y estudiados. Es importante e imprescindible incluir una mirada macro desde el estudio de la ciudad para promover la mejora del rendimiento energético urbano a través de la transformación de la forma física urbana. El diseño urbano puede concebirse como un método de modelado prospectivo para sintetizar problemas energéticos complejos e inciertos en las ciudades, contribuye entonces a la agenda de crear una ciencia del modelado de energía urbana (Yang, 2015). Incluir en los procesos la variable del diseño urbano como herramienta-instrumento de cambio a partir del concepto de promoción de energía urbana.

Amado (2005) sostiene que para garantizar las condiciones propicias para el uso y aplicabilidad de las energías renovables, como ser el uso de energía solar, deben mejorarse los conocimientos, las herramientas y los sistemas de aplicación, referidos a planificación y diseño urbano. Afirma que:

“El mundo desarrollado consume la mitad de la producción de energía en el sector de la construcción y la mayor parte de su actividad es en áreas urbanas. Esta situación se ha convertido en una oportunidad para introducir políticas como, por ejemplo, los objetivos 20-20-20 definidos por la Unión Europea, cuyo objetivo es reducir el consumo global y producir más energía a partir de fuentes renovables a escala nacional” (Amado, 2005).

Esto refuerza la idea de que los procesos de planificación pueden aportar grandes resultados si se integran otros campos de conocimiento referidos a temas energéticos y tecnológicos, pudiendo lograr grandes progresos en la medida que estas disciplinas trabajen en conjunto.

“Las formas urbanas sostenibles sólo pueden lograrse si están respaldadas por un proceso operativo y políticas que consideren los objetivos globales de sostenibilidad y definan estrategias locales para establecer el tema de la energía como un factor determinante para la calidad y el carácter funcional de las futuras ciudades” (Amado, 2005).

Con el fin de revisar los conceptos definidos por los Códigos de Planificación para la densificación y preservación de edificios en las zonas urbanas existentes y en áreas de crecimiento, en particular en el Área Central de San Miguel de Tucumán, se enfocó la investigación en los lineamientos aplicados a los procesos de urbanización en la línea de Planificación Solar Estratégica. Se realizó un análisis para evaluar como dichos conceptos afectan, aportan o mejoran las condiciones de habitabilidad, acceso a la luz natural y captación de radiación con el fin de promover el aprovechamiento de energía limpia a las diferentes escalas que abarca el diseño urbano. Los casos de estudio analizados por el presente trabajo, se orientan hacia la optimización de la morfología edilicia para maximizar el acceso solar, estudiando todas las variables intervinientes, ya sean morfológicas, climáticas, legales, etc.; así como hacia la evaluación del potencial solar sobre edificios futuros y existentes, en conjunto con su interacción con el medio urbano directo.

Uno de los principales objetivos fue revisar las alternativas volumétricas resultantes del Código de Planificación Urbano (CPU) actual y sus futuras consecuencias en el potencial uso de la irradiación para la generación de energía limpia permitidas por el mismo en áreas representativas de cada distrito. Para ello se determinaron una serie de Mosaicos Urbanos (Chávez, 2016) y se simularon y compararon diferentes escenarios con el objetivo de conocer en cuánto resulta determinante la incidencia de la forma urbana en el aprovechamiento de energía solar.

La ciudad requiere que los planificadores, arquitectos y diseñadores cumplan con los códigos, legislaciones y pautas de diseño referidas al acceso solar y al derecho a la luz, y que sean capaces de evaluar el impacto de los nuevos edificios sobre los edificios existentes; que aún hoy son incipientes o inexistentes en numerosas ciudades del mundo, sobre todo en países latinoamericanos:

“Es necesario proporcionar la información solar y de disponibilidad diurna requerida para cualquier área urbana, de una manera visualmente significativa, de manera que se pueda hacer una evaluación rápida tanto para los edificios existentes como para los no construidos. El acceso solar y la regulación del derecho a la luz pueden imponer limitaciones específicas a la geometría de un esquema. Particularmente durante las primeras fases de diseño, es necesario utilizar herramientas de simulación dinámica para evaluar el potencial solar y de luz del día de un sitio, incluso antes de que se diseñe un edificio” (Lobaccaro, 2013).

Estado del arte del problema

El uso de las nuevas tecnologías y softwares es el foco de las nuevas investigaciones en pos de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En la complejidad de la realidad urbana concurren numerosas variables que interactúan entre sí (Ruiz Tagle, 2009). En este contexto, dice el autor, es en donde las partes no pueden considerarse como una suma de partes, sino, que aparece el concepto de agrupamiento de estas unidades. Surge para abarcar con una mirada más amplia la problemática en donde intervienen la sistematización y el uso de nuevas herramientas vinculadas al diseño y la pre visualización de alternativas y sus consecuencias.

Desde la concepción de que el fenómeno urbano tiene que ver con interacciones que se dan en todas las escalas (Ruiz Tagle, 2009), no se contaba previamente con tecnologías ni herramientas que fuesen capaces de abarcar la complejidad de información y datos que una ciudad o sistemas complejos de edificios requieren, sólo se abordaban problemas complejos por segmentación, sin generar la correlación o integración de las partes.

Es hoy entonces donde la tecnología se encuentra al servicio de los profesionales y de manera mucho más accesible lo que permite un acercamiento directo a problemáticas complejas con una mejora notable y significativa en los resultados de las investigaciones. Aprender a utilizar las herramientas, que sean confiables y de fácil aplicación, y poder introducir las en el hacer cotidiano de los profesionales que intervienen en el diseño de las ciudades es el gran desafío de todas estas investigaciones.

Trabajos (Eicker, et al, 2014) sobre el estudio de evaluación de recursos de energía solar pasivos y activos en ciudades utilizando modelos de ciudades en 3D, remarcan que independientemente de sus diferentes aplicaciones, los modelos de ciudad en 3D tienen el potencial de coordinar toda la estrategia energética de la ciudad y, por lo tanto, ser una piedra clave de la transición energética hacia las energías renovables.

“Muchas ciudades hoy en día están comprometidas a aumentar la eficiencia energética de los edificios y la fracción de las energías renovables. Sin embargo, los datos cuantitativos sobre el rendimiento energético urbano rara vez están disponibles durante la etapa de diseño de nuevas ciudades o para los escenarios de rehabilitación de ciudades existentes. Los modelos de ciudad tridimensionales basados en el formato de datos ofrecen nuevos métodos poderosos para la evaluación cuantitativa de la demanda y los costos de la energía urbana, y permiten simultáneamente la simulación de sistemas de energía renovable” (Eicker, 2014).

Los trabajos realizados con simulación sobre las transformaciones urbanas referida a enfoques teóricos y metodológicos de las transformaciones en la planificación física de los espacios (Marengo, 2014), remarcan la importancia de la complejidad urbana y la multiplicidad de factores interrelacionados, y de la importancia del desarrollo de herramientas digitales y de simulación en tiempo real de desarrollo y evaluación de las alternativas propuestas para resolver la problemática urbana. Se plantea que los modelos de simulación se sugieren como

herramientas para detectar los elementos, las relaciones y la dinámica en una forma simplificada que permite experimentar los resultados. Es decir, una posición teórica sobre un modelo informático se traduce para investigar, de manera experimental, las posibles soluciones derivadas de la manipulación de las variables, antes de que el fenómeno se materialice. En el caso de la planificación urbana, esta condición es de particular relevancia, dada la importancia de anticipar efectos no deseados en el contexto de intervención que pueden surgir cuando se construyen proyectos urbanos (Marengo, 2014). Su trabajo en particular evalúa la aplicación de una metodología de simulación, basada en la dinámica de los sistemas y la aplicación de software que puede anticipar los efectos de ciertas decisiones en un proyecto de renovación urbana en la ciudad de Córdoba, Argentina. Estudia los efectos del desarrollo inmobiliario y discute sobre los límites y las posibilidades de uso de esta herramienta durante los procesos de gestión urbana.

Trabajos de simulación realizados por Christoph Reinhart, junto a su equipo de trabajo, aportaron el desarrollo múltiples softwares e investigaciones que tienen como foco central la importancia de la simulación para la previsualización de problemáticas a diferentes escalas relacionadas con cuestiones ambientales. En particular en uno de sus trabajos para apoyar la implementación de estrategias de eficiencia energética urbana se ha introducido una nueva generación de herramientas de modelado energético de edificios urbanos -UBEM-, que permite a las ciudades simular las demandas energéticas esperadas de los vecindarios (Reinhart, 2017). Remarca la necesidad de incorporar la mayor cantidad de variables en los estudios mediante el uso de la simulación ya que las simplificaciones pueden llevar a predicciones erróneas de ahorro para las estrategias de eficiencia energética.

A modo de conclusión, todos estos estudios, marcan una tendencia de investigación en pos del mejoramiento en las condiciones de habitabilidad en entornos urbanos. Interesa el bienestar que brinda la captación de luz natural, sean sus efectos sobre la población referido a asoleamiento o captación de radiación para aprovechamiento energético. La simulación será una de las herramientas fundamentales para el desarrollo de estrategias de planificación y diseño que permitan alcanzar los objetivos de mejoras en el desarrollo de las actividades humanas en las ciudades.

Metodología

ESCENARIOS

Para la generación de las maquetas 3D de la ciudad, se desarrollaron dos alternativas de trabajo según la escala del área considerada para el estudio de casos. Ambas alternativas son planteadas desde la simplificación de la trama urbana, debido a la complejidad de la morfología estudiada. Por un lado, se trabaja con áreas reducidas partiendo desde la unidad del lote y su entorno inmediato -3 edificios- hasta una cuadra -10 a 15 edificios-. Se trabajó con manzanas completas. Por ello, en este tipo de escenarios donde surgió la necesidad de automatizar el modelo 3D por la complejidad y cantidad de información requerida por manzana urbana.

Entonces, se desarrollaron dos alternativas de trabajo según la complejidad y extensión del área de estudio: 1) AREAS REDUCIDAS DE ESTUDIO, y 2) AREAS EXTENSAS DE ESTUDIO.

1) AREAS REDUCIDAS DE ESTUDIO.

En el caso de las áreas reducidas, se trabajó con softwares que no requirieron de una gran automatización, ya que la cantidad de datos y la facilidad de manejo de algunos parámetros resultó en una ventaja la no automatización, por lo que se pudieron alcanzar detalles o particularidades de cada escenario, que en caso de parametrizar esta información, resulta muy difícil incluir las particularidades en su estructura formal. En el modelado del entorno se mantuvieron los edificios existentes de más de 4 niveles y se suprimieron las edificaciones de 3 niveles o menos. Quedó delimitada el área de los lotes que fueran factibles de contener un edificio en altura.

2) AREAS EXTENSAS DE ESTUDIO.

En el caso de áreas más extensas o de sectores de ciudad se contempló la sistematización y automatización de datos para el trabajo de simulación. Se sumaron simplificaciones y redujeron complejidades para poder resolver problemáticas de mayor escala.

Se tomó como base de datos la misma información que en el caso áreas reducidas de estudio, pero el procesamiento corre por parte del software para producir la volumetría.

Se desarrolló dentro del software de programación un script de interfaz dinámico que llamamos EDIFICADOR. El mismo cuenta con parámetros establecidos en base al CPU y se puede una vez generada la volumetría general del edificio o conjunto de edificios, hacer modificaciones manuales pero sistematizadas de algunos componentes como ser los patios de aire y luz y los volúmenes salientes.

ESQUEMA DE SIMULACIÓN PROPUESTO

Se seleccionó el sector a trabajar, se generaron las propuestas morfológicas y se procedió a la simulación de radiación o de acceso de energía solar por punto, cuadrante o superficie.

El punto de partida de esta metodología es la generación de geometrías mediante software apropiados: se utiliza Unity para desarrollar la maqueta 3D y se desarrolla un Script llamado "Edificador" que contiene los parámetros para desarrollo de la morfología; y Revit con el plug-in Insight, para obtener los datos de radiación. A continuación, se realizó el procesamiento de la incidencia de la radiación en las superficies. Finalmente, el post- tratamiento de los resultados con la ayuda de hojas de cálculo y de interfaz gráfica para la presentación de datos.

Por otro lado, se ha sistematizado el proceso de simulación (Figura 1) buscando automatizar el modelado y la obtención de datos. Así puede aplicarse esta metodología para diversos casos de estudio de cualquier ciudad. El proceso propuesto se basa en una secuencia de datos que puede ser modificada en diferentes puntos, permitiendo la obtención de datos de diversos escenarios o tipologías simultáneamente.

Sobre la base de un análisis pormenorizado del CPU de San Miguel de Tucumán (SMT), una serie de escenarios de estudio de diversas características formales y escalas fue simulada mediante el uso de softwares específicos de modelado 3D paramétrico y manual según fuera el requerimiento del escenario estudiado. En este punto se ha tenido previsto un Loop respecto de modificaciones que se pueden realizar sobre la información base del modelo que deviene en cambios automáticos sobre la morfología 3D del mismo, incluye el análisis respecto de cálculo de radiación solar y sombras del modelo 3D donde intervienen como información base además de la maqueta virtual, el archivo de clima de la ciudad estudiada y su ubicación geográfica.

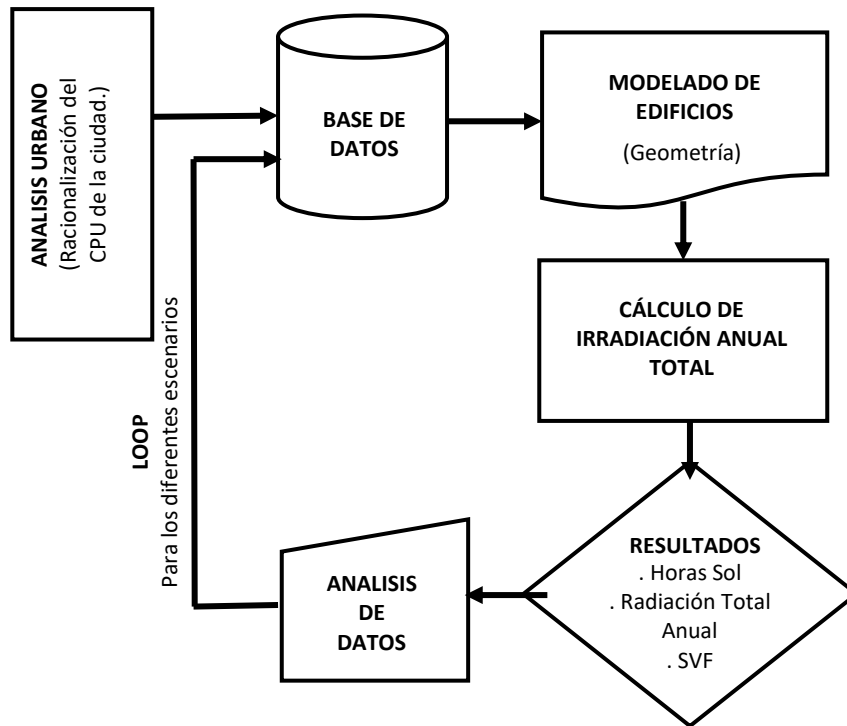


Figura 1. Esquema Específico de Simulación propuesto.

SISTEMATIZACIÓN

El proceso se inició entonces con la carga de datos en el software para la generación morfológica de los distintos escenarios. Se trabajó con un archivo base generado por el equipo de trabajo de la presente investigación, llamado **Edificador**, que cuenta con una base programada de simplificación de datos y requerimientos reales del CPU de SMT actual. Las simplificaciones radicarón en racionalizar las manzanas respecto de sus medidas, así como sistematizar y sintetizar tipologías de lotes. Se tuvieron en cuenta retiros de frentes, fondos, laterales y centros de manzana. Esto facilitó la carga de datos en el script del Edificador.

Se trabajó con una medida normalizada de manzana -120 x 120 m- con retiros de frentes -5 m- y con medidas de centro de manzana -para la de 120 x 120m corresponden 35m-. Los lotes se simplificaron en 5 tipologías -de ancho constante pero de profundidad variable- y se sumó a ellas la tipología en esquina. Se trabajó también con volúmenes entrantes y salientes -voladizos y patios de luz- (Figura 2 y 3).

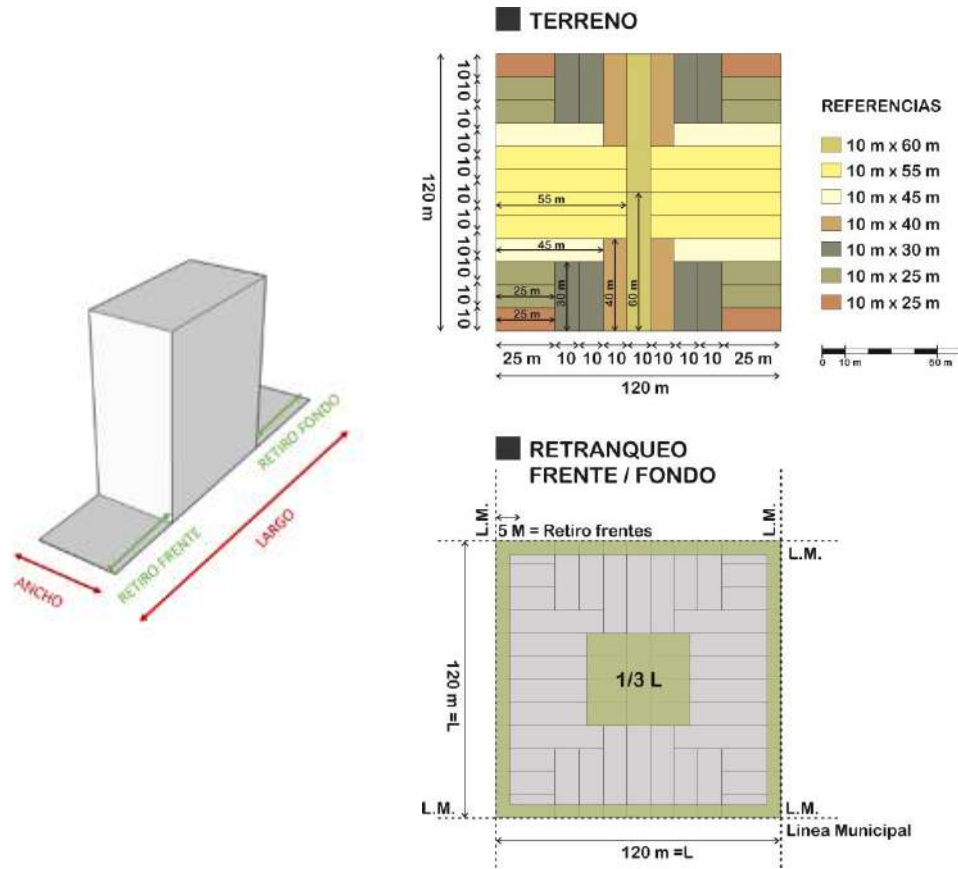


Figura 2. Simplificaciones para modelado de maqueta ciudad SMT. Fuente: Propia.

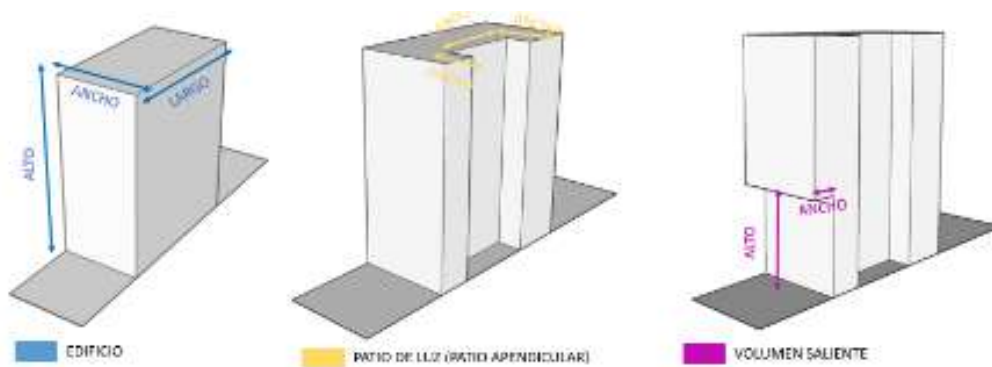


Figura 3. Modificaciones factibles dentro de EDIFICADOR.

De esta manera el **Edificador** (Figura 4) quedó conformado, con previo análisis de todas las variables que contempla el CPU de SMT. Sobre este se cargaron los datos requeridos para los diferentes escenarios propuestos: un lote, una cuadra, una manzana o un sector de la ciudad. Pudieron ser controlados mediante un algoritmo aleatorio, parámetros

como la altura o las dimensiones de los patios de luz, automatizando en mayor medida el sistema y dando lugar a una imagen más cercana a la realidad de los posibles escenarios urbanos. Hasta aquí se generaron, mediante un proceso sistematizado y de programación, los diferentes escenarios posibles para caso de estudio propuesto.

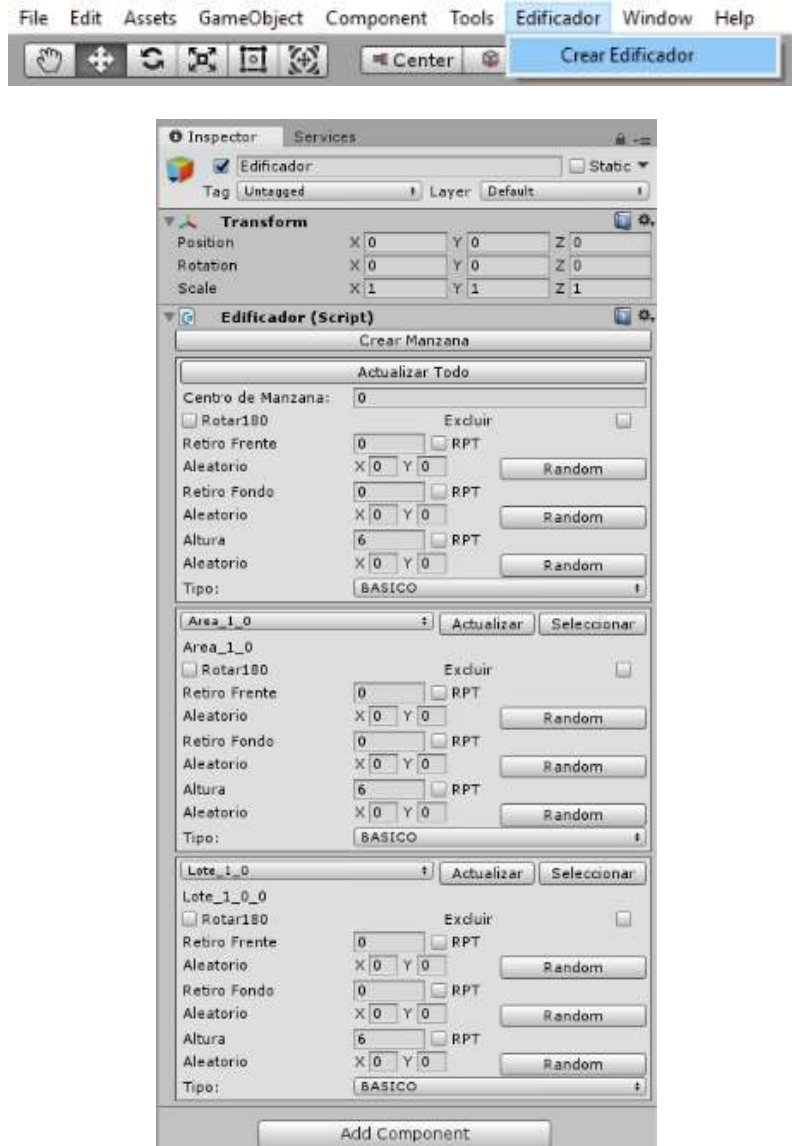
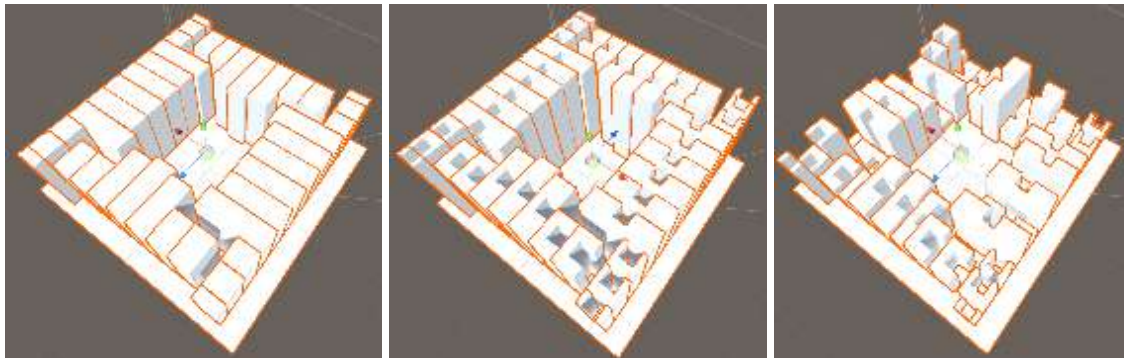


Figura 4. Imagen de caja de diálogo de script EDIFICADOR. Fuente Propia.

Una vez que se obtuvo la maqueta deseada para el escenario correspondiente se inició el proceso de exportación de datos de la volumetría -mesh- generada. Se convirtieron mediante softwares específicos los formatos de archivos para lograr compatibilidades entre los programas de modelado y de procesamiento-cálculo. Para la generación del modelo se utilizó Unity, (Figura 5) luego mediante un conversor FBX se exportó a Revit el archivo base de la maqueta, donde se realizan los cálculos de irradiación mediante el plug-in INSIGHT.



E1 1-3

E1 2-3

E1 3-3

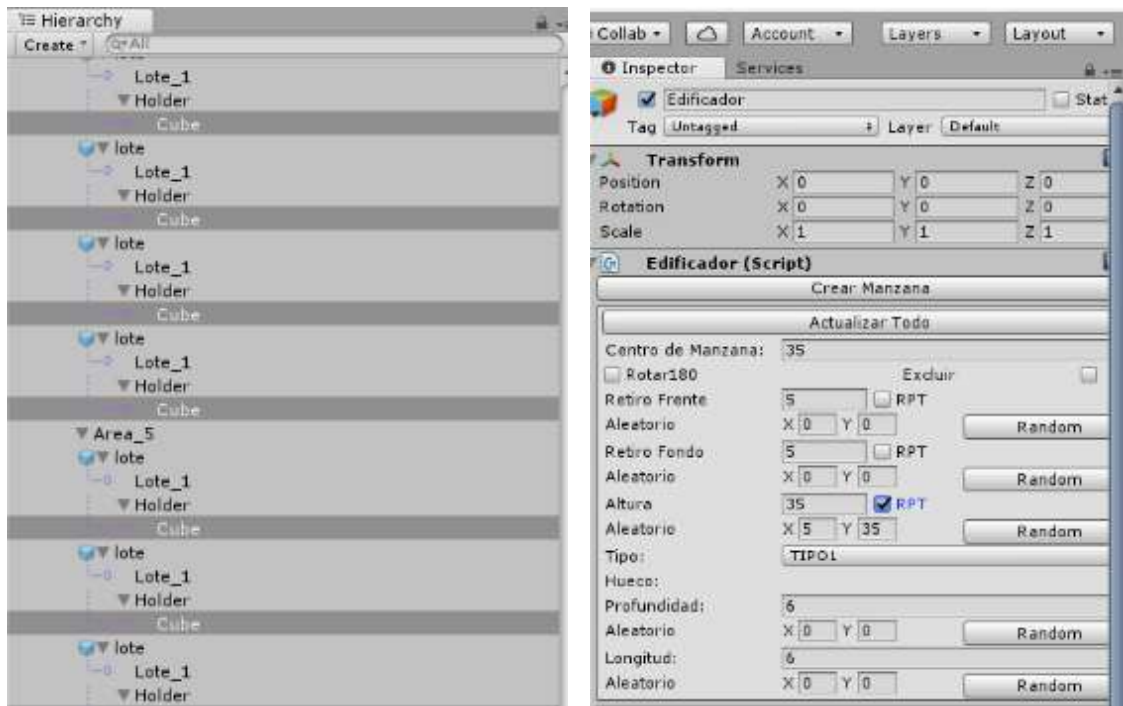


Figura 5. (Arriba) Tareas de modelización y generación de alternativas morfológicas utilizando sistema paramétrico de modelado de maqueta virtual. (Abajo) Imagen ilustrativa de software que se utiliza para el modelado paramétrico. Fuente Propia

APLICABILIDAD DEL METODO DE SIMULACIÓN AL CÓDIGO DE PLANIFICACIÓN URBANO DE SAN MIGUEL DE TUCUMÁN.

Se estudia un caso puntual para la aplicación del esquema de simulación propuesto. El área de estudio seleccionado fue el área central de San Miguel de Tucumán, zona plaza San Martín (Figura 6) por sus características cuantitativas y cualitativas. Como primera medida se estudia el emplazamiento actual de los lotes seleccionados y su morfología existente, se proponen escenarios posibles según los lineamientos actuales del Código de Planificación Urbana de San Miguel de Tucumán llevando situaciones de límites el Factor de Ocupación de Terreno: máximos (F.O.T 0.8) y mínimos (F.O.T 0.6) como cumplimiento de algunos de los requerimientos cuantitativos del Código de Planificación Urbana.

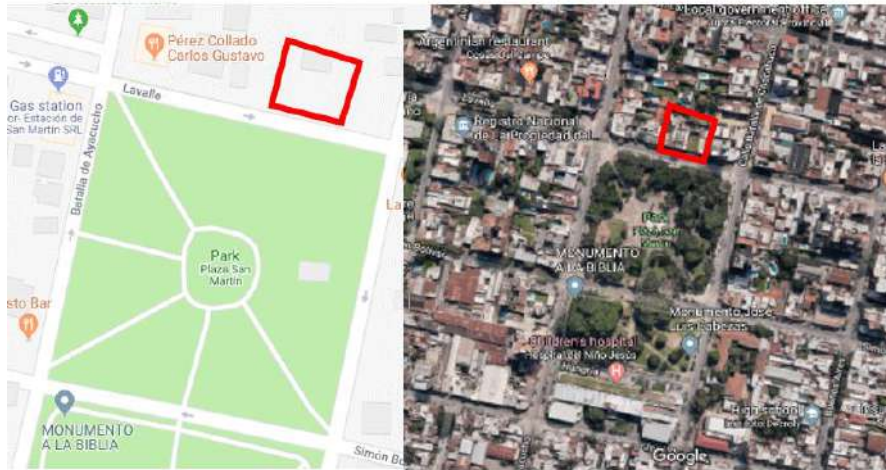


Figura 6. Área de estudio seleccionada Plaza San Martín San Miguel de Tucumán.

Se estudió el patio de aire y luz resultante entre los diferentes volúmenes edificados para los escenarios propuestos y se revisó cuáles serían sus condiciones de potencial de captación de energía solar en los balcones del contra frente de la edificación.

Ante la necesidad de correlacionar una serie de factores e índices, es necesario elaborar un Factor que reúna esta información y la procese de manera integrada la relación entre la morfología urbana y el acceso al recurso solar para el aprovechamiento pleno del recurso solar como fuente de luz y energía.

Para la elaboración de este factor resulta necesario realizar una serie de estudios previos que permitan distinguir y determinar cuáles son las pautas de diseño, parámetros y factores de mayor influencia en esta relación morfología-potencial de captación solar.

CASO DE ESTUDIO 1

Se estudiaron dos escenarios:

- E1 MaACNPP: Máxima aérea de construcción por nivel por parcela (Figura 7).
- E2 MiACNPP: Mínima aérea de construcción por nivel por parcela (Figura 8).

Se simularon para la orientación Norte, las cuatro estaciones del año para los días 21 marzo, 21 de junio, 21 septiembre y 21 diciembre. Los resultados de Radiación Total acumulada para cada uno de estos períodos indicaron una disminución de la influencia de radiación solar hacia el interior del patio de luz, es decir, hacia los niveles más bajos del edificio. Asimismo, una disminución del acceso a la luz natural, llegando a niveles muy bajos, incluso menores al 10% de los valores pico para cada caso.

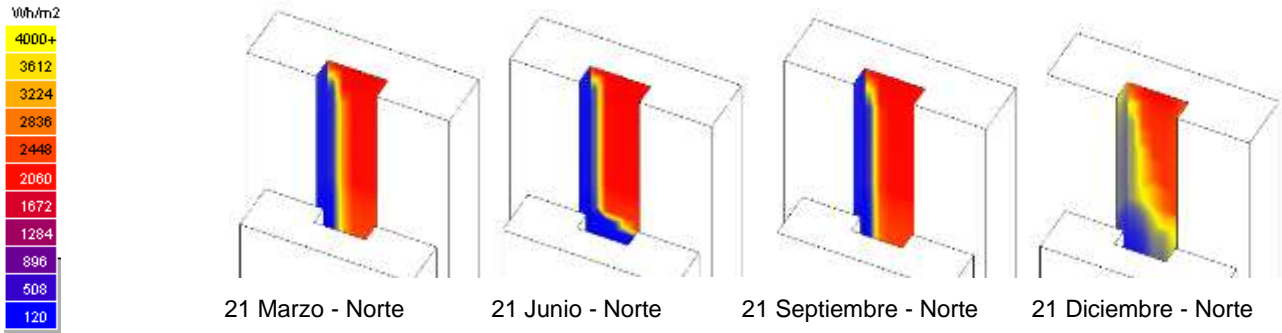


Figura 7. Cálculo de Radiación solar para Escenario 1: Máxima aérea de construcción por nivel por parcela. MaACNPP. Simulación cuatro estaciones.

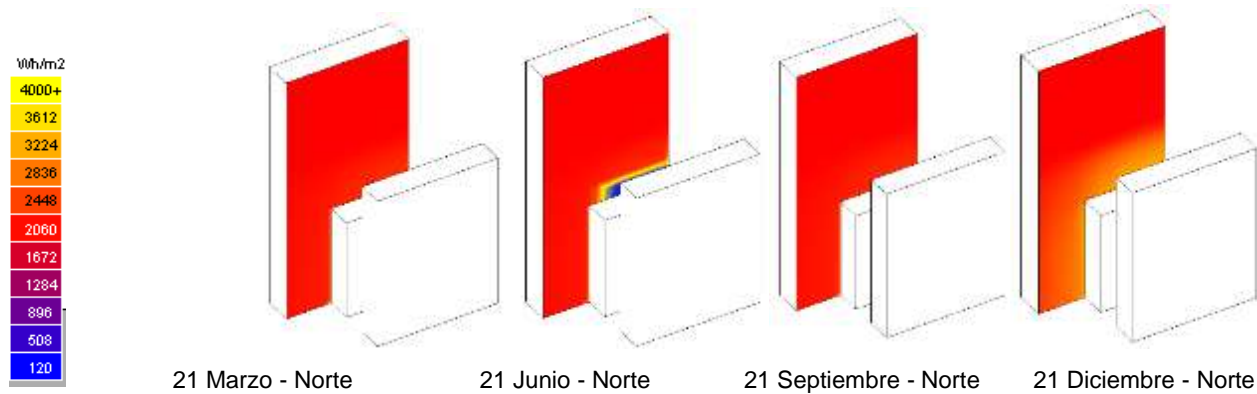
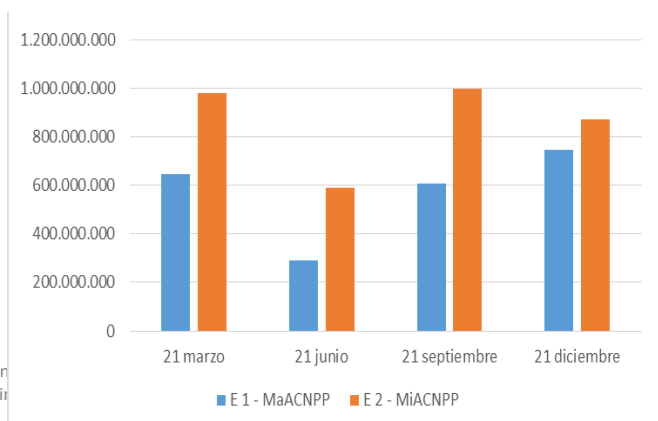


Figura 8. Cálculo de Radiación solar por superficie para Escenario 2: Mínima aérea de construcción por nivel por parcela. MiACNPP. Simulación cuatro estaciones.

La propuesta E1 muestra valores más bajos de radiación que la propuesta formal E2, esto puede deberse a que la radiación recibida en el E1 se ve afectado por la morfología -resolución formal más compacta- impidiendo el acceso hacia los niveles más bajos. También el aumento de radiación de la propuesta formal E2 se debe a la variable de disposición de superficies -área de fachada de edificios exentos y con mayor altura- al tener distribuida la superficie de captación potencial en una morfología alternativa, puede recibir mayores niveles de radiación debido a la forma resultante del área de potencial captación respecto de las obstrucciones posibles (Tabla 1 y Gráfico 1). Queda estudiar si un amanzanamiento completo de estos edificios en altura arrojará grandes áreas de sombra sobre ellos mismos, o sobre la manzana linderas.

Radiación Total Acumulada KWh/m ²		
	E 1 - MaACNPP	E 2 - MiACNPP
21 marzo	644.384.375	978.321.333
21 junio	289.978.656	590.379.857
21 septiembre	608.123.188	998.746.111
21 diciembre	745.210.123	870.258.857



Total de radiación KWh/m ²	2.287.696.342	3.437.706.158
--	---------------	---------------

entre Escenario 1 MiACNPP y Escenario 2 MiACNPP.

Tabla 1 – Radiación Total Acumulada. Comparación

Gráfico 1 – Radiación Total Acumulada KWh/m²
 E1 MaACNPP y E2 MiACNPP

En los resultados obtenidos mediante simulación, los datos demuestran una clara tendencia de disminución de acceso solar en los meses de invierno, y hacia el verano, si bien existe un aumento en el porcentaje tanto de radiación solar como de disminución de superficie sombreada, las diferencias entre los meses de marzo y septiembre no son muy pronunciadas con el 5,62%, en cambio, sí lo son entre los meses de junio y diciembre con el 156,98%.

La situación frente al acceso solar en patios de luz respecto de una situación de edificación compacta -Escenario 1- o retranqueada en las medianeras -Escenario 2- es variable, debido a la permeabilidad que se produce al despegar un edificio del otro.

CASO DE ESTUDIO 2

Se estudiaron cinco escenarios (Figura 9):

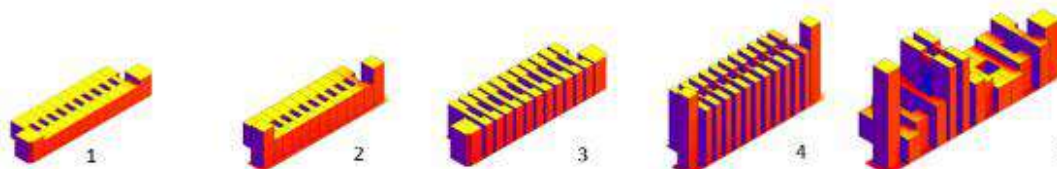


Figura 9. Escenarios 1, 2, 3, 4, 5. Propuestas Morfológicas para R1. Simulación de Radiación solar acumulada.

El análisis de los datos indicó que existen diferencias significativas en el promedio por cuadra de cada caso (Tabla 2). En el Caso 2 alcanzó menores niveles de radiación solar acumulada anual en relación a los otros casos estudiados, siendo ésta la opción de perímetro libre con mayor altura edificable y menor superficie por área. A su vez, el caso 4 representa un 16% menos de radiación respecto del caso 1 –mayor nivel de radiación solar- el cual responde a la morfología compacta homogénea con retranqueo, máxima superficie por lote edificable y menor altura.

Nº	Escenario	M2	KWH/M2
1		50.063,00	531,00
2		55.939,00	523,00
3		67.193,00	498,00
4		99.759,00	448,00
5		66.590,00	522,00

Tabla 2. Valores de Radiación Acumulado para Casos 1, 2, 3, 4 y 5.

En cuanto a la morfología de cada caso, se observó que el escenario 2 y 5 resultan en situaciones formales muy dispares pero la combinación de alturas y la diferencia entre las obstrucciones permitieron alcanzar una similitud para la capacidad potencial de captación de energía solar (Grafico 2). Pudimos observar así que es fundamental el estudio de la forma urbana en las etapas tempranas de diseño.

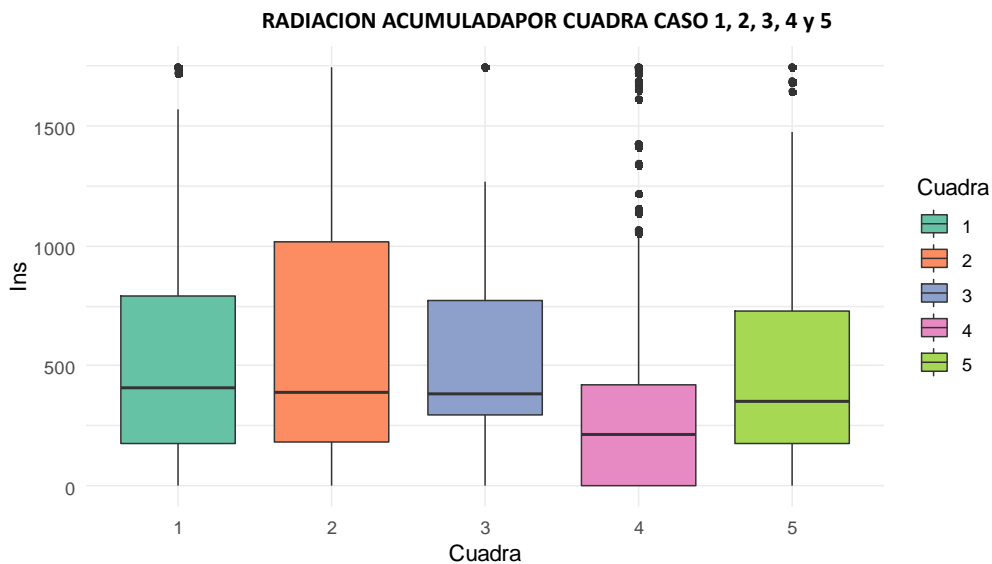


Grafico 2. Niveles de Radiación Solar KWh/m² acumulada para casos de estudio Cuadra 1, 2, 3, 4 y 5.

CASO DE ESTUDIO 3

Se estudiaron dos escenarios (Figura 10):

- Escenario 1) Superficie máxima construida con altura mínima.
- Escenario 2) Superficie mínima construida con altura máxima.

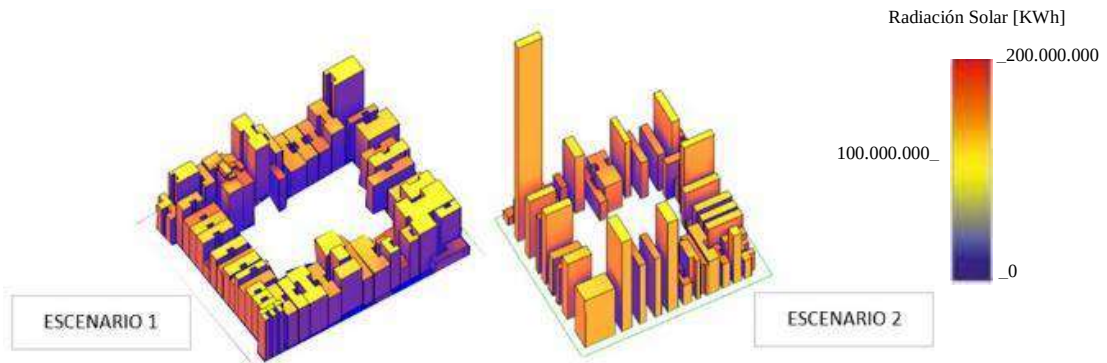


Figura 10. (Izquierda) Escenario 1. (Derecha) Escenario 2. Cálculo de Radiación acumulada.

Mediante las comparaciones indicadas (Tabla 3), se puede afirmar que en el caso estudiado, el escenario E2 supera al escenario E1 en un 19% respecto de su capacidad de captación de radiación anual desde el punto de vista formal. En cuanto al área en metros cuadrados considerada para ambos casos, se observó que el escenario E2 es un 14% mayor en superficie que la E1. Los análisis indicaron además que el escenario E2 excede al escenario E1 en un 6% con respecto a la cantidad de radiación solar acumulada por metro cuadrado. Esta consideración se hace ya que a mayor superficie mayor cantidad de radiación es factible de acumularse (en términos de totales acumulados y no de radiación por m²), sin embargo, las obstrucciones presentes deben ser consideradas simultáneamente.


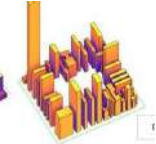
	ESCENA	SUPERFICIE [m ²]	Valor Promedio Radiación Solar	Valor Total Radiación Solar	Diferencias [%]	
			[KWh/m ²]	[Wh]		
ESCENA 1 MINIMA ALTURA		606.116,57	224,34	113.541.961,94	13,89%	19%
ESCENA2 MAXIMA ALTURA		587.776,40	238,53	140.201.310,76	5,95%	

Tabla 3. Comparación de Resultados de Estudio de Escenario 1 y 2.

Discusión y Conclusiones

Los resultados dieron muestra de una variedad de circunstancias al relacionar los diferentes escenarios posibles con la irradiación solar. Se verificó la importancia que posee la morfología urbana y por lo tanto la influencia de los códigos de planificación de la ciudad, en términos de disponibilidad de luz natural y el potencial uso de la irradiación para la generación de energía.

El desarrollo sin restricciones de altura y compacidad afecta el potencial de captación de energía solar. Además, afecta particularmente al derecho a la luz natural ya que la mayoría de las superficies de patios recibirán bajos porcentajes de sol en invierno.

Es posible afirmar entonces que el potencial de captación solar se ve influenciado significativamente por la morfología de la cuadra y, a su vez, evidencia que el CPU actual permite una disparidad a nivel cuantitativo y cualitativo de las superficies posibles de utilizar y de la calidad ambiental de los espacios urbanos que entre ellas se generen, posibilidades basadas en el criterio de diseño del profesional a cargo de los requerimientos económicos-inmobiliarios en cada caso.

La metodología presentada permite simular un número ilimitado de combinaciones y probabilidades con una inversión donde la relación costo económico-tiempo se regule a favor de la producción de alternativas para la toma de decisiones fundadas en pruebas cuantificables. Esto nos permitiría experimentar con nuevas regulaciones dentro del código o probar las posibilidades de recolectar energía solar de un nuevo edificio que se construirá en un contexto dado.

Como línea futura de estudio se espera estimar los cálculos necesarios para reconocer un promedio de radiación por lote o manzana y obtener un valor representativo para cotejar e identificar Áreas Ambientales potenciales de captación de radiación solar.

Agradecimientos

A las instituciones que financiaron esta investigación: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET; Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica; PICT 2015 / 1259 Proyecto "Condiciones ambientales en museos, uso de nuevas tecnologías en el cuidado del patrimonio; Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán; Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión DLYV; Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión ILAV.

Referencias

- Amado, M.; Poggi, F. (2005). The Operative process in Sustainable Urban Planning. Sustainable Development and Planning II, A. G. Kungolos and others (Eds): WIT Press, Vol. (1), pp. 181-191.
- Chevez, Pedro; 2016. "Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial", Tesis Doctoral. Directora Irene Martini, Salta. 374 p.
- Eicker, U., Schumacher, J., Bobker, M., Berk, H., Rodríguez, L. R., Vörösmarty, C. J., Descubrimientos, S. N. 2017. "Thinking Local, Acting Global : Urban-scale Energy Modeling for Global Cities". Governance Center of Applied Research , Sustainable Energy Technologies , University of Applied Sciences CUNY Institute for Urban Systems , City College of NY , Marshak 118 , N, 49(0), pp 1595–1603.
- Lobaccaro, G.; Frontini, F. (2013). International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. Proceedings of the 2nd International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry SHC 2013. Vol 1, 120 – 135. September 23-25, Freiburg, Germany.
- Marengo, M. C. 2014. "Urban Simulation Models : Contributions as Analysis-Methodology in a Project of Urban Renewal." Current Urban Studies, 2(September), 298–305.



Internacional Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



- Marengo, C., Ambrosini, A., Bonetto, S., Ochoa, A. 2010. "La simulación y su validez como herramienta metodológica para el análisis de transformaciones urbano-territoriales."
- Ruiz Tagle, J.; Gurovich, A.; Cox, T.; (2009). Modelos de simulación urbana. Aproximación a los fenómenos de la ciudad. Prólogo. P 9-12. Editorial: Departamento de Urbanismo Universidad Nacional de Chile. ISBN 978-956-19-0632-7.
- Reinhart, C., Davila, C. C., Jones, N., Al-mumin, A., Hajjah, A. 2017. "Implementation of a calibrated Urban Building Energy Model (UBEM) for the evaluation of energy efficiency scenarios in a Kuwaiti residential neighborhood." Proceedings of the 15th IBPSA Conference, pp 1310–1319.