

## **Evaluación de modelos urbanos para la baja densidad edilicia. Estudio de la luz solar bajo la aplicación de Indicadores del Urbanismo Sustentable.**

**Evaluation of urban models for low building density. Sunlight study based on the application of sustainable urbanism indicators.**

**Córica, María Lorena**

Filiación: INSTITUTE DE AMBIENTE, HÁBITAT Y ENERGÍA (INAHE). CCT MENDOZA- CONICET.

Dirección: Av. Ruiz leal s/n. Parque Gral. San Martín. Ciudad de Mendoza. CP:5500. Mendoza. Argentina

Correo: lcorica@mendoza-conicet.gob.ar

**Manrique, Nahir Amira**

Filiación: Carrera de Arquitectura. FING- UNCuyo

Dirección: Centro Universitario, M5500. Mendoza. Argentina

Correo: nahirmanrique@gmail.com

**Código del manuscrito: 05\_001**

**Fecha de aceptación: 04/10/2019**

### **Resumen**

La sustentabilidad de las ciudades debe ser abordada teniendo en cuenta los recursos locales de cada región en conjunto con criterios de una planificación urbana apropiada. Los modelos territoriales han sufrido grandes transformaciones evolucionando desde modelos urbanos compactos a modelos de ciudad difusa, con la expansión y des-densificación de las áreas centrales, y como consecuencia, los suelos agrícolas o naturales se han convertido en suelos urbanos. Los cambios en los patrones de crecimiento demográfico, aumentan el consumo de recursos naturales, los niveles de contaminación y a la vez que disminuyen la calidad de vida de los habitantes.

El presente trabajo pretende correlacionar Indicadores Urbanos sustentables, con la temática de la luz solar y del aprovechamiento de recursos locales, apuntando a generar herramientas de aplicación al contexto local. Para ello se analiza el comportamiento de luz natural y acceso al sol a través de simulaciones que tengan en cuenta la temporalidad e intensidad de las componentes directa y difusa y la espacialidad de las morfologías (orientación, dimensiones, obstrucciones, etc.), Esto en base al estudio de modelos actuales de ciudad difusa (baja densidad edilicia) y propuestas de modelos teóricos de ciudad compacta (medias densidades), contrastando sus posibles impactos.

Los resultados obtenidos se traducen en tipologías como ejemplos de buenas prácticas de intervenciones en el espacio geográfico, que ayudan en el proceso de toma de decisiones y que orienten la configuración de la ciudad hacia un modelo de urbanismo local sustentable.

**Palabras claves:** Urbanismo Sustentable; Luz solar; Baja densidad edilicia; Tipologías urbanas.



**IBPSA**  
**2019**



**LATAM**  
Mendoza, Argentina

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil – Chile

## **Abstract**

The Sustainable cities should be addressed taking into account the local resources of each region together with appropriate criteria of urban planning. The territorial models have undergone major transformations, evolving from compact urban models to diffuse city models, with the expansion and de-densification of the central areas, and as a consequence, agricultural or natural soils have become urban soils. Changes in population growth patterns increase the consumption of natural resources, pollution levels and at the same time decrease the quality of life of the habitants.

This work, aims to correlate sustainable Urban Indicators, with the theme of sunlight and the use of local resources, aiming to generate tools for application to the local context. For this, the behavior of natural light and solar access, are analyzed through simulations that take into account the temporality and intensity of the direct and diffuse components and the spatiality of the morphologies (orientation, dimensions, obstructions, etc.). This in based on the study of current models diffuse city (low building density) and proposals of theoretical models compact city (medium densities), contrasting their possible impacts.

The results obtained are translated into typological proposals as examples of good practices of interventions in the geographical space, which help in the decision-making process and guide the configuration of the city towards a model of sustainable local urbanism.

**Keywords:** Sustainable urbanism; Sunlight; Low density; Urban typologies.

## Introducción

En las últimas décadas, los acelerados procesos de urbanización del territorio han determinado un incremento masivo de consumo de recursos, la creciente pérdida de biodiversidad y la fragmentación de los espacios naturales, con el consecuente deterioro de la calidad del entorno urbano (Ministerio de Medio Ambiente y BCNecología, 2007; Rogers, 2000). Existe gran cantidad de estudios nacionales e internacionales enfocados a la importancia de transformar a las urbes actuales en modelos de ciudades que contemplen mejorar la calidad de vida de los habitantes, además de preservar el medio ambiente. Actualmente, en el campo del urbanismo las guías, normativas y certificaciones de eficiencia energética, se han convertido en herramientas de aplicación novedosas. Se pueden encontrar iniciativas que buscan introducir pautas de sustentabilidad en el proceso de planificación y proyecto de nuevos barrios o rehabilitación de espacios urbanizados. Como ejemplo de estas prácticas, pueden mencionarse certificaciones como el BREEAM Communities (Reino Unido, 2008), el CASBEE for Urban development (IBEC, Japón, 2007) y el LEED for Neighborhood for Development (EEUU, 2007).

Diversos autores y planificadores, abordan el desarrollo urbano sostenible desde distintas perspectivas, pero la mayoría concuerdan que las principales características son: la complejidad, la compacidad, la eficiencia, la cohesión social, el espacio público y la equidad (Roger, 2000; Rueda, 2012; Gaja 2008). Una de las herramientas utilizadas para lograr estos objetivos, son los Indicadores Urbanos de Sustentabilidad (IUS). En España, Salvador Rueda (2014) ha desarrollado un sistema de "Certificación del urbanismo ecológico", estipulando valores deseables para cada uno de ellos. Si bien, esta guía sirve como marco de referencia a la hora de abordar estudios urbanos, los mismos han sido establecidos para espacios con características morfológicas ambientales muy generales. Pero, la sustentabilidad de las ciudades debe ser abordada desde la escala local con relación a planes y propuestas racionales con el medio donde se proyectan. Es en esta escala, donde se pueden aportar estrategias básicas, para que las ciudades funcionen mejor, teniendo en cuenta las particularidades del contexto local (Higueras, 2006).

El acceso al sol y aprovechamiento de la Iluminación Natural (IN), resultan particularmente importantes para la planificación de urbano-edilicia al representar una fuente de energía gratuita, lo que implica el uso de energías limpias. Pueden aportar estrategias básicas para que las ciudades consuman menos recursos no renovables y aumenten la eficiencia energética (Mesa, 2000; 2001). Algunos países ya disponen de normativas para asegurar el alcance de ciertos valores mínimos de acceso a la luz solar (HKSAR Government. Building Planning Regulations, 2005). Estas regulaciones utilizan criterios especificados en términos de: cantidades mínima de duración de luz diurna, ángulos máximos de obstrucción o mínimo factor de luz natural.

Un abordaje bioregional de la luz solar, involucra los modos en que el espacio urbano puede tomar forma, responder, aprovechar y beneficiarse de los recursos de una región específica, tales como la presencia del sol, su duración y trayectorias, las condiciones del cielo, y otros elementos del clima (Guzowsky, 2001; Brotas, 2010; Córlica, 2009). La performance de la luz solar está determinada por las características de dos variables fundamentales: las particularidades del clima regional y la morfología del ambiente construido. En la provincia de Mendoza el 76% del año corresponde a cielos claros con presencia de sol en el período diurno. Alcanza un promedio anual de duración de sol de 2850 horas y desde el punto de vista de la iluminación establece al cielo claro como una condición de cielo de diseño, con valores de Iluminancia Global máximos medios de 90.000 lux en verano y de 30.000 lux invierno (Pattini, 2009). Estas condiciones la convierten en una fuente permanente y de gran potencial de disponibilidad de luz natural, convirtiéndolo en un verdadero paisaje luminoso.

Ante lo expuesto, el presente trabajo pretende aportar al estudio de la temática de la luz natural y del aprovechamiento del recurso solar, involucrando el desarrollo, validación o ajuste de Indicadores Urbanos sustentables de aplicación al contexto local. Se trata de correlacionar el comportamiento de luz natural y acceso al sol a través de simulaciones que tengan en cuenta la temporalidad e intensidad de las componentes directa y difusa y la espacialidad

de la morfología (orientación, dimensiones, obstrucciones, etc.), en escenarios actuales de modelos de ciudad difusa (baja densidad edilicia) con propuestas de modelos teóricos de ciudad compacta (medias densidades).

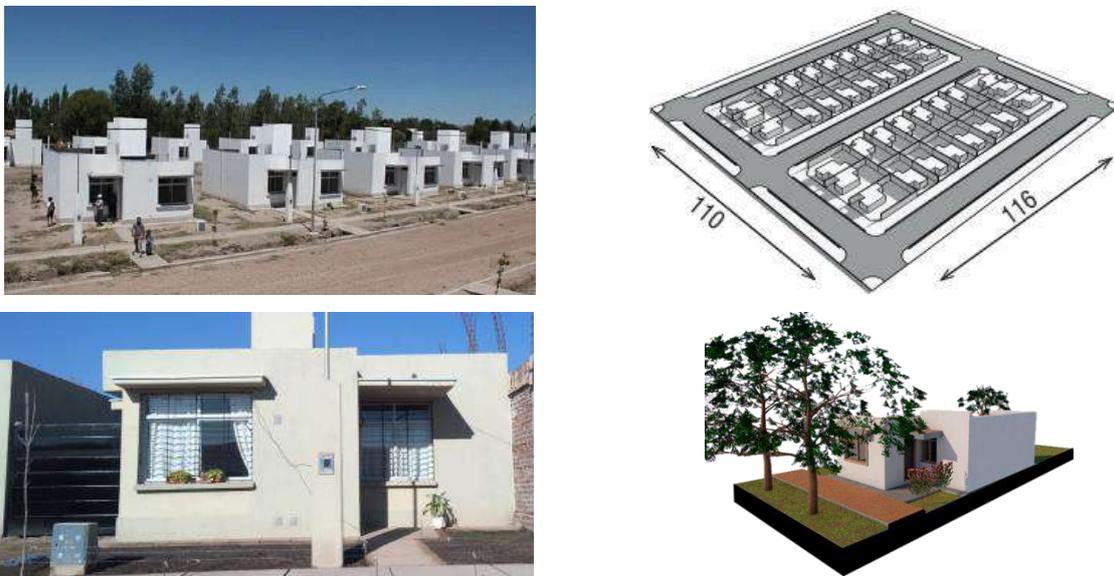
Se trabaja sobre mallas urbanas de referencia correspondientes a las morfologías y tipologías barriales que actualmente son implementadas y ejecutadas por los organismos públicos (IPV- Instituto Provincial de la Vivienda), como nuevas planificaciones en el territorio, fundamentalmente en las zonas periféricas. Estos contextos son analizados, con Indicadores Urbanos Sustentables (IUS), según la “Guía Metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano” (Rueda, 2012). Y a partir de las correlaciones desarrolladas, se realiza el análisis y ajuste de estos indicadores a nuestra realidad local.

Sobre los resultados obtenidos de una serie de tipologías, se espera poder transferir ejemplos de buenas prácticas de intervenciones en el espacio geográfico, que ayuden en el proceso de toma de decisiones y que orienten la configuración de la ciudad hacia un modelo de urbanismo local sustentable.

## Metodología

### a) Casos de estudio:

Se expone un caso base definido como **Modelo Ciudad Difusa**. La selección del mismo se basó en una impronta urbana de vivienda social, tomando como ejemplo una de las tipologías de mayor inserción en el territorio ejecutada por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV). Se consideró la trama damero con manzanas cuadradas de aproximadamente 100m x 100m característica del trazado urbano de Mendoza. Se trata de dos manzanas existentes con su calle intermedia, constituyendo una “macromanzana” de 116 x 110 metros, con un área neta de 1,4 ha aproximadamente. (Fig. 1). Cuenta con 144 viviendas para 4ha de referencia de viviendas aisladas de 1 nivel de altura (3m).



**Figura 1.** Imágenes Barrios y Viviendas del IPV. Vistas de Caso Modelo Ciudad Difusa. Fuente: Elaboración propia.

Sobre esta impronta de base, se realizaron distintas propuestas de densificación, definiendo cuatro casos de modelo compacto para este estudio (figura2):

- **Escenario 1 Claustro Cerrado:** corresponde a una densificación que parte del modelo actual, con la potenciación del trazado existente, planteando la ocupación completa sobre la línea municipal a través de un bloque anular de perímetro rectilíneo, tipo claustro y espacio verde privado como corazón de manzana destinado a patios y jardines interiores comunes. La edificación alcanza una altura máxima continua de cuatro niveles con un zócalo comercial y el resto de los pisos corresponde a viviendas unifamiliares que constituyen un total de 634 unidades.

- **Escenario 2 Claustro Abierto:** en este caso, se propone una tipología de claustro abierto. El bloque edificado con perímetro rectilíneo se interrumpe en los ejes medios y extremos de las manzanas sobre las calles. De esta manera, el espacio privado de patios se convierte en espacio público como una reelaboración del corazón o centro de manzana, asumiendo el rol de claustro socializador. Esto permite la vinculación de la calle pública con los espacios interiores de los bloques y la posibilidad de dotar de equipamiento para niños, lugares de encuentro para adultos, espacios de deportes y recreación, etc., en espacios forestados. Los bloques continuos que definen un mayor perímetro sobre la línea municipal (en C) presentan una altura de 4 niveles, mientras que los centrales interiores, 3 niveles. Esto fue pensado para dar mayor espacialidad y apertura a los Espacios Públicos (EP), además de generar mejores condiciones de asoleamiento y ventilación. Cantidad de viviendas: 502.

- **Escenario 3 Torres:** como alternativa de densificación de gran compacidad se plantea la construcción de torres con perímetro libre, en base a la unificación de loteos. Esto aumenta considerablemente la densidad poblacional en el mismo espacio en base a otra forma de ocupación del territorio. Se genera a partir de la ordenación de bloques paralelos sobre las líneas de edificación, de manera que las separaciones entre éstos contengan espacios peatonales de circulación, juegos y accesos libres. En este caso las alturas de las volumetrías fueron diseñadas contemplando los ángulos de altitud solar, por lo que sobre las fachadas norte se definieron torres de 6 niveles y 5 niveles las dispuestas sobre la fachada sur, con un total de 593 viviendas.

**Escenario 4 Placas y Torres:** Finalmente se diseña una propuesta que fusiona las alternativas planteadas de edificios placas alternadas con torres. El objetivo es generar un conjunto con mayor permeabilidad entre los espacios públicos, propiciando espacios intersticiales entre los bloques. 465 cantidad de vivienda, con altura de 5 niveles en Torres, y 4 para las placas.

Las resoluciones proyectuales expuestas, pretenden lograr una mayor compacidad en una misma superficie de territorio (Córica, et. al.; 2019). Cabe aclarar que a la hora de densificar, se realizó el estudio de incidencia de rayos solares para optimizar el acceso al sol fundamentalmente sobre las fachadas con exposición norte. El diseño de las volumetrías se planteó en función de perfiles edilicios según los ángulos de altitud y azimut solar en la época más crítica del año.



Figura 2. Casos de estudios propuestos. Elaboración propia.

## b) Aplicación de Indicadores del Urbanismo Sustentable

Siguiendo los principios del urbanismo sustentable, se contemplan los lineamientos de la “Guía Metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano” (Rueda, 2012), de

gran difusión e implementación en la actualidad. Se articula un conjunto de criterios en varios ámbitos con el desarrollo de Indicadores Urbanos Sustentables (IUS). En esta etapa inicial se realiza un análisis en base a una selección acotada entre los 60 indicadores que presenta la guía. Se toman tres ámbitos y 6 indicadores que estuvieran relacionados con aspectos generales de morfología y habitabilidad del espacio público y verde urbano.

Ámbitos temáticos e indicadores seleccionados

#### ÁMBITO 1. OCUPACIÓN DEL SUELO

- a) *Intensidad de uso: densidad de viviendas*, busca lograr una cantidad de población suficiente para incentivar los intercambios entre los habitantes y hacer más eficientes los sistemas de movilidad, transporte público y la dotación de servicios de infraestructura.
- b) *Compacidad absoluta*: tiene por objetivo lograr un modelo compacto que acerque distancias entre usos para que los desplazamientos se realicen principalmente a pie.

#### ÁMBITO 2. ESPACIO PÚBLICO (EP) Y HABITABILIDAD URBANA

- a) *Compacidad corregida*: muestra el equilibrio entre espacios construidos y espacios libres. Se calcula la relación entre el volumen edificado y el espacio público de estancia donde se consideran espacios verdes, plazas, veredas de más de 5m, calles peatonales, corazones de manzana abiertos, etc.
- b) *Espacio de estancia por habitante*: juegan un papel fundamental tanto en el medio ambiente, como en la biodiversidad de la ciudad por su funcionalidad como espacios de relación, de esparcimiento o relax.

#### ÁMBITO 3: ESPACIOS VERDES Y BIODIVERSIDAD

- a) *Índice biótico del suelo*: establece la proporción de suelo permeable en los tejidos urbanos. Para ello se divide las superficies en cuatro categorías: permeables (1): áreas en estado natural, terrenos sin compactar; semipermeables (2) como las que sin estar en el estado natural mantiene sus funciones de absorción y permeabilidad, pueden ser superficies y pavimentos de piedra, grava, hormigón con o sin vegetación, etc.; cubiertas verdes (3) y suelos impermeables (4).
- b) *Espacio verde por habitante*: dotación mínima de verde por los beneficios que reporta en el bienestar físico y emocional de las personas y por su papel fundamental en el medio ambiente y la biodiversidad urbana.

Cada uno de los indicadores establece información necesaria para el desarrollo y métodos para su cálculo. Así como también, valores de referencia que se consideran mínimos o deseables a través de un sistema de semaforización. La guía permite tener un marco conceptual que define un modelo urbano sustentable de referencia. Cabe aclarar que determina un área de malla de referencia de 4ha, por lo que todos los casos fueron asumidos con esta superficie.

**Tabla 1.** Detalle y descripción de los IUS seleccionados.

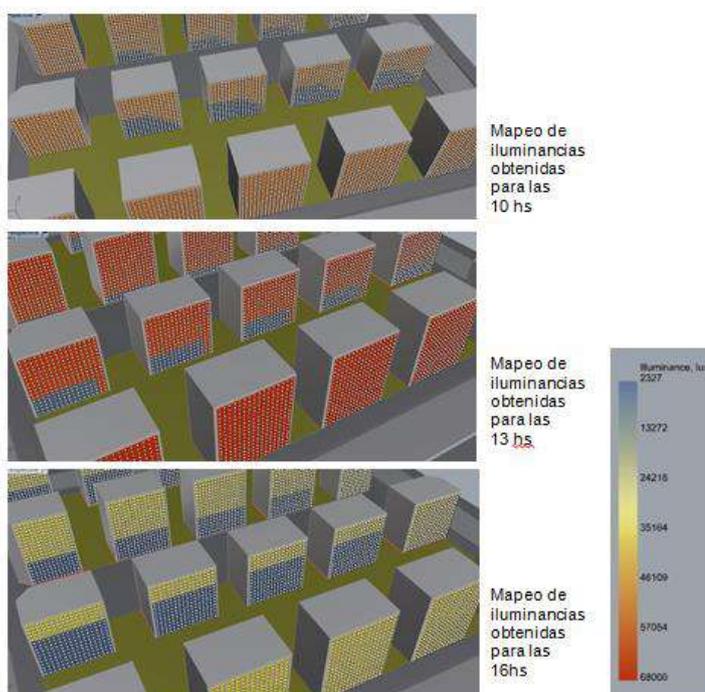
INDICADORES	FÓRMULA DE CÁLCULO	UNIDAD DE CÁLCULO	VALORES DE REFERENCIA
Densidad de viviendas	Número de viviendas / Unidad de superficie	Nº de viviendas/ha	80-160
Compacidad Absoluta	Volumen edificado / Unidad de superficie	Metros	>5
Compacidad Corregida	Volumen edificado (m3) / Espacio público de estancia (m2)	Metros	>10 - <50
Espacio de estancia por habitante	Superficie espacio público de estancia (m2) / población Total	m2/hab	>10 - <20
Índice Permeabilidad del Suelo	$\sum (\text{factor de permeabilidad del suelo} \times \text{área de suelo (a)}) / \text{área total (A i)} \times 100$	%	>35
Espacio verde por habitante	Superficie verde/población total	m2/hab	>10 - <20

#### c) Simulaciones de la iluminación natural

Para indagar en el comportamiento de luz solar se utilizó el programa DIVA-for-Rhino como complemento de modelado energético y de luz diurna altamente optimizado para Rhinoceros. Este software utiliza métodos para la optimización de cálculos de iluminancia bajo distintas condiciones climáticas -información climática del sitio- a lo largo del año (Monteoliva, 2013), bajo el Modelo Pérez de Cielo (Perez et al., 1990). En este caso, fue empleada la base climática correspondiente a la ciudad de Mendoza (ARG\_MendozaCCT), generada a partir de la información brindada por la estación de medición de iluminación natural del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), ubicado en el Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CCT Mendoza) (32.53S y 68.51O) (Monteoliva; Villalba; Pattini, 2012).

Se realizaron modelos digitales en 3d para cada tipología, a los cuales se le asignaron valores de reflectancia según el tipo de superficies. Las mismas fueron asumidas con reflectancias para las volumetrías, tomando valores del 50% (colores claros), mientras que para las superficies horizontales, se consideraron reflectancias relacionadas a materiales como cemento y verde (sup. parquizada) inferiores al 20%. Estas reflectancias fueron agregadas según valores de referencia obtenidos en estudios previos (Córica, 2010; Córica et. al. 2011; 2005; 2002).

Las simulaciones se realizaron para una jornada diurna, entre las 9.00 y las 17:00 en los solsticios de invierno y verano, 21 de Diciembre y 21 de Junio y como referencia de equinoccio se tomó el 21 de Septiembre. Para lograr la base de datos, se determinaron grillas de simulación ubicadas en cada una de las fachadas norte de las volumetrías. Se definieron puntos-sensores con una distancia equidistante de 1m entre sí como se expone en el ejemplo de la figura lateral.



El estudio de luz natural y acceso al sol, contempló análisis que tengan en cuenta la temporalidad e intensidad de las componentes directa y difusa y las características espaciales de la morfología. Para ello se obtuvieron magnitudes lumínicas como Iluminancias verticales ( $E_{vert}$ ) incidentes sobre muros con exposición al norte y porcentajes de horas efectivas de acceso al sol. Además se obtuvieron mapeos de iluminancias y de proyección de sombras.

- **Considerandos para la evaluación:**

En los últimos años se han elaborado guías para el estudio de la luz en el medio urbano, con índices y recomendaciones que permiten incorporar e incluir tecnologías adecuadas como sistemas de transporte de luz a los espacios interiores. Uno de los principales referentes a nivel mundial corresponde a los trabajos desarrollados por Compagnon que muestran un verdadero aporte en cuanto a métodos avanzados para el estudio de penetración solar en texturas urbanas diferentes. Del mismo se adopta la iluminancia umbral ( $E_{umbral}$ ) en superficies verticales. Para definir un  $E_{umbral}$  sin necesidad especificar detalles constructivos (por ej. Proporción de las aberturas, transmitancia lumínica de los vidriados, tamaños de los espacios, reflectancias de las superficies, las propiedades fotométricas de

sistemas de iluminación natural, etc.), propone una relación simple que es asumida entre la iluminancia media del plano de trabajo  $E_w$  y la iluminancia media de la superficie vertical exterior sobre edificios  $E_o$ :

$$E_w (lx) = CU E_o$$

$$E_{\text{umbral}} (lx) = \frac{E_w}{CU} = 10\,000$$

Donde CU es el coeficiente de utilización que representa los efectos de todos los parámetros de construcción mencionados anteriormente. Tales clases de coeficientes han sido calculadas para varios sistemas de luz natural (Tregenza, 1995). Para aberturas verticales, el orden de magnitud de estos coeficientes por lo general está alrededor de  $CU = 0.05$ . Si la iluminancia media del plano de trabajo es fijado en  $E_w = 500$  lx (para la realización de las tareas de manera eficiente), el valor de umbral de iluminancia vertical de fachadas exteriores puede ser estimada como:

Dada la cantidad de bibliografía que toman este valor como referente, se toma como patrón de referencia para Iluminancias Verticales  $E_{\text{umbral}} = 10000$  lx (Compagnon, 2004) y de esta forma se pueden obtener los rangos adecuados de exposición solar sobre las fachadas. Esto permite la incorporación de luz solar en los interiores para iluminación natural en los espacios interiores, además de la incorporación de sistemas tecnológicos para calentamiento de agua y calefacción, como así también artefactos para la generación de energía eléctrica como paneles fotovoltaicos.

## Resultados

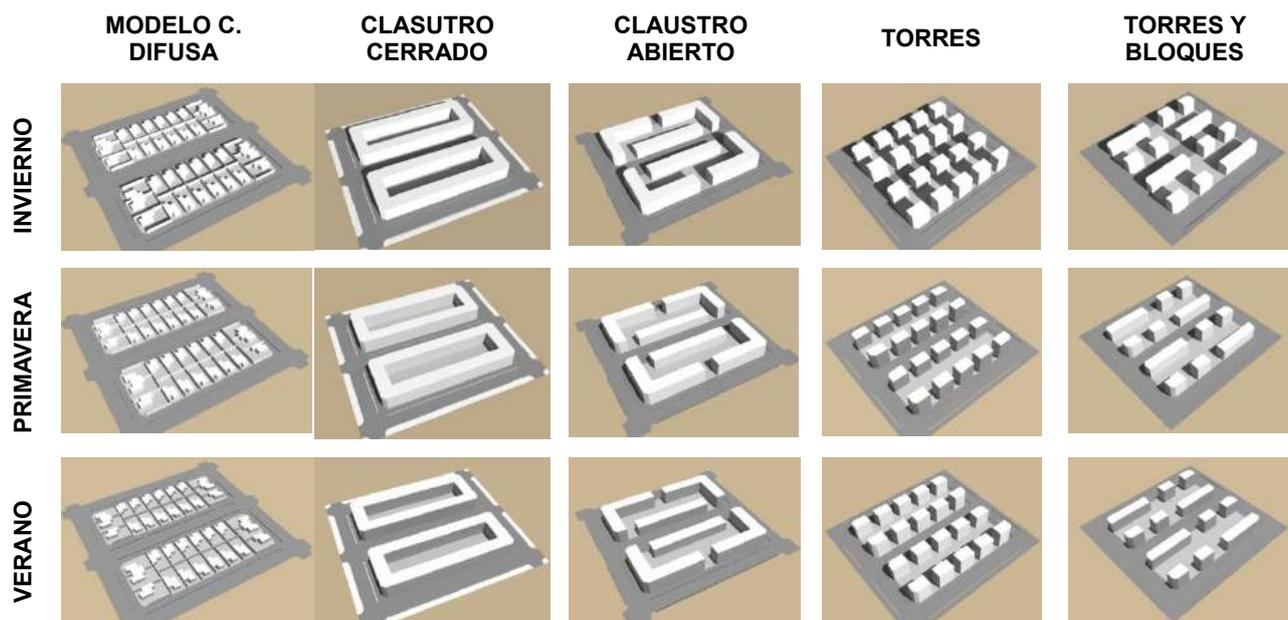
Como primeros resultados de análisis en la tabla 2 se expone la aplicación de los indicadores del Urbanismo Sustentable.

**Tabla 2.** Valores de IUS obtenidos para los casos de estudio propuestos.

INDICADORES	VALORES REFERENCIA	Modelo C. Difusa	CLAUSTRO CERRADO	CLAUSTRO ABIERTO	TORRES	TORRES Y BLOQUES
Densidad de viviendas (Viviendas /ha)	<b>80-160</b>	28	124,3	98,4	116,4	91,2
Compacidad Absoluta (m)	<b>&gt;5</b>	0,7	5,11	4,2	4,26	3,6
Compacidad Corregida (m <sup>2</sup> )	<b>&gt;10 - &lt;50</b>	0,0	0,00	13,0	9,87	8,9
Espacio de estancia por habitante (m <sup>2</sup> /Hab)	<b>&gt;10 - &lt;20</b>	0,00	0,00	10,9	12,35	14,9
Índice Biótico del Suelo (%)	<b>&gt;35</b>	41,9	20,4	48,1	64,7	61,3
Espacio verde por habitante (m <sup>2</sup> / Hab)	<b>&gt;10 - &lt;20</b>	2,4	0,6	10,9	12,4	14,9

Se destacan como situaciones llamativas que para la baja densidad edilicia los valores aparecen como los más alejados a una condición sustentable. Sin embargo, a la hora de pensar en modelos compactos, todas las tipologías presentan muy buenas respuestas desde el ámbito Ocupación del Suelo. Y analizando de manera integral, las mejores respuestas se dan puntualmente en la tipología de *Torres y bloques* como ejemplo de buena y equilibrada actuación urbanística en todos los ámbitos. Esto implica que la dotación de EP mejora significativamente la calidad de los habitantes, y la inclusión del verde urbano aparece como una estrategia de gran aporte ambiental en relación a las nuevas densidades poblacionales arrojadas.

Para correlacionar estos valores con las condiciones ambientales de la región y como eje de interés del trabajo, se obtuvieron distintos resultados correspondientes a la temática de luz solar. En las imágenes de la figura 3 se muestra un primer análisis observacional de la incidencia de la luz solar en las tres condiciones estacionales. Esto se plantea a fin de validar el diseño de las volumetrías y la incidencia de rayos solares que optimicen el asoleamiento de las fachadas.



**Figura 3.** Visualización de proyección de sombras en los escenarios para las 12hs de cada estación. Elaboración propia.

Si bien y como se mencionó con anterioridad, en la ciudad de Mendoza, el recurso solar es abundante, en entornos urbanos de densidades medias y altas, la disponibilidad del acceso al sol de las áreas potenciales colectoras, depende esencialmente de las obstrucciones producidas por los volúmenes próximos. Para ello, se analizó el comportamiento de acceso a la radiación solar, en función de la presencia que ejercen las construcciones del entorno sobre los espacios exteriores. En la figura 4 pueden observarse las imágenes multiestereográficas obtenidas a través del método de proyección de sombras, para cada condición diurna entre las 9 y las 17hs, abarcando las horas centrales del día y el período de tiempo del 90% de la radiación directa incidente sobre fachadas con orientación norte (Fernández, J. et. al, 2001). Esto permite comparar la influencia de las sombras proyectadas por las construcciones existentes dentro de las tramas.

En base a este estudio, puede determinarse que las situaciones más críticas del año se dan en el período invernal, por las bajas inclinaciones de los ángulos solares. Pero, en los períodos de primavera, otoño y verano, las volumetrías presentan exposiciones plenas al recurso solar, puntualmente techos y fachadas nortes. Esto significa que los muros exteriores deberán contar con dispositivos de control como aleros o parasoles para mitigar las altas intensidades disponibles en las épocas calurosas, cuyos valores superan los 30000lx de  $E_{vert}$  incidente en las horas centrales de la época estival como por ejemplo.

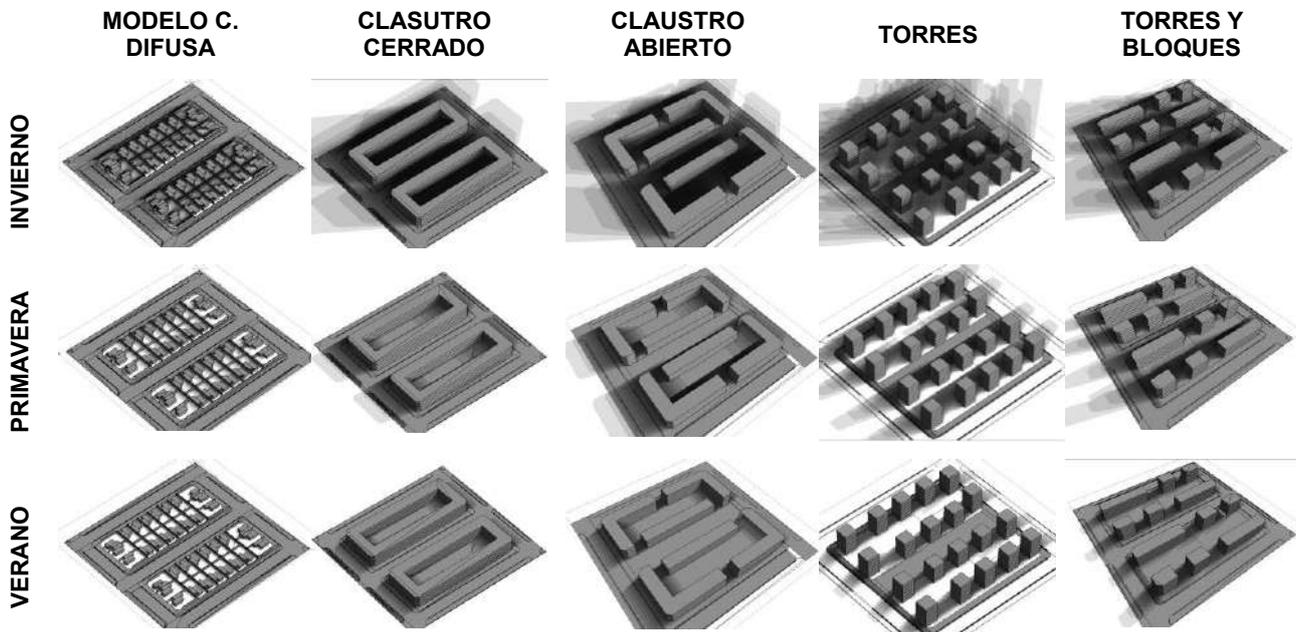


Figura 4. Visualización de proyección de sombras multiestereográficas para cada jornada estacional. Elaboración propia.

Las barras de las figuras 5, 6 y 7 exponen datos de superficies (m<sup>2</sup>) efectivos de exposición al sol por encima de la E umbral de 10000lx recomendada. Esto permite estimar comparativamente la performance de cada una de las tipologías y su aprovechamiento al recurso solar. En rasgos generales, a lo largo del año pueden observarse los contrastes que se dan entre las improntas compactas y la baja densidad edilicia. El modelo Ciudad difusa expone los menores rangos de superficies de fachadas norte, con valores constantes en las tres estaciones. A esto se suma otra variable del tipo urbano-morfológica dentro de la trama: sólo el 67% de las viviendas presenta orientación norte, mientras que el resto, corresponde a orientaciones este y oeste. Por lo que resulta una condición desfavorable en cuanto a la cantidad de usuarios que pueden aprovechar e incorporar el recurso en los interiores con fines de ahorro energético.

Los modelos compactos, contrariamente, despliegan grandes superficies de exposición en las horas centrales del día y de mayor intensidad luminosa (alrededor de 20000 m<sup>2</sup>). Como mejores alternativas de acceso al sol, se destacan las tipologías de *Torres y Bloques* y la de *Torres* de perímetro libre. Esto resulta como consecuencia de su desarrollo esencialmente en altura, y que al no estar enmarcado dentro de lo que es la trama urbana en loteos tradicionales, permiten grandes áreas verdes entre los edificios, lo que favorece las condiciones de luz solar en los recintos. Como aspecto positivo, se suma que la totalidad de viviendas (100%), se encuentran bien orientadas. Por último las trazas del tipo *clausuro* tanto abierto y cerrado, establecen superficies colectoras de gran importancia. Sí puede aclararse que en el modelo *Clausuro cerrado*, la cantidad de departamentos con orientación franca a la fuente luminosa es del 82%, mientras que el resto de los departamentos se disponen a las orientaciones este y oeste.

Como principales aportes, se entiende que las densidades medias con diseños proyectuales adecuados pueden plantear equilibrios entre superficies con orientación norte y que en los caso analizados de edificios en planificaciones nuevas, puede darse un predominio de áreas asoleadas verticales muy eficiente para la captación.

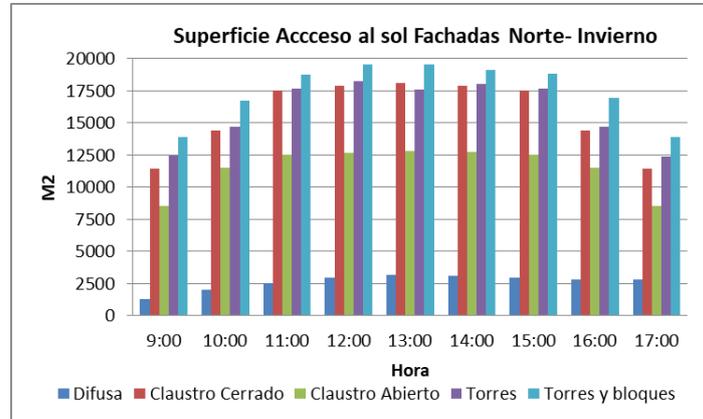


Figura 5. Superficies efectivas de acceso al sol. Invierno. Fuente: elaboración propia.

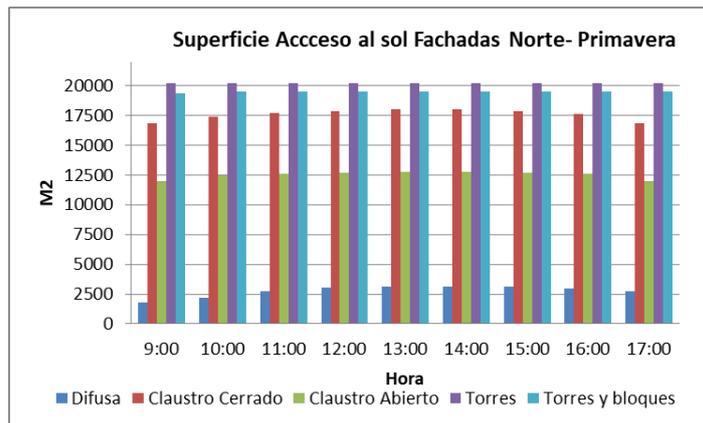


Figura 6. Superficies efectivas de acceso al sol. Primavera. Fuente: Elaboración propia.

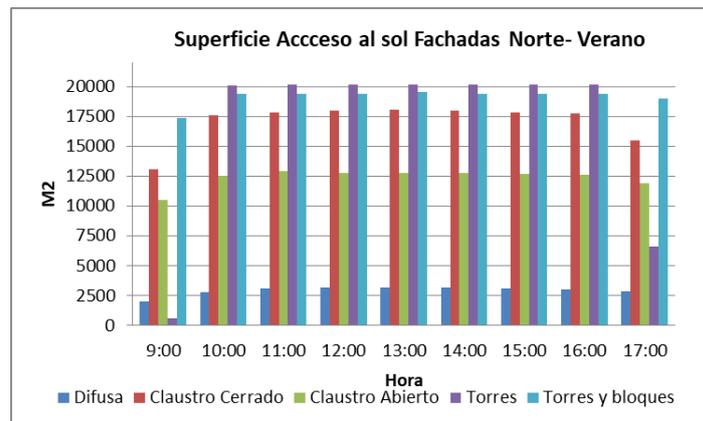


Figura 7. Superficies efectivas de acceso al sol. Verano. Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 centra el estudio en la disponibilidad de horas del recurso solar sobre las fachadas potencialmente colectoras para la condición invernal. En este caso se obtuvieron porcentajes de las áreas de fachadas asoleadas, sin obstrucciones, según el total de superficies verticales de cada caso. Así vemos que para el caso base de *Modelo Ciudad Difusa*, se alcanza el 100% de captación solar en dos horas de la jornada y en horarios cercanos al mediodía.

En cuanto al *Claustro cerrado*, si bien se amplía el rango de captación, debe aclararse que la morfología del mismo presenta fachadas con orientación al este y oeste, lo que reduce significativamente la captación de radiación en un número importante de usuarios. Además de que los espacios verdes interiores de las manzanas no generen ámbitos de asoleamiento y confort visual y térmico. Para el escenario de *Torres*, la cercanía de volumetrías y las alturas máximas propuestas definen una reducción del aprovechamiento de la luz solar, fundamentalmente en los niveles inferiores de las torres como puede observarse en la figura 3. Y la tipología de *Torres y bloques* aparece con una gran cantidad de horas de iluminación a lo largo del día, recurso que pueden ser incorporado en el interior de las viviendas como iluminación eficiente y desde el punto de vista térmico como ganancia directa.

**Tabla 3. Porcentajes de m2 que alcanzan E umbral 10000lx para cada hora del período invernal**

Tipología	m2 F. Norte	9:00 (%)	10:00 (%)	11:00 (%)	12:00 (%)	13:00 (%)	14:00 (%)	15:00 (%)	16:00 (%)	17:00 (%)
<b>Ciudad Difusa</b>	3168	41	63	80	94	99	99	94	88	59
<b>Claustro Cerrado</b>	18048	63	80	97	99	100	99	97	80	63
<b>Claustro Abierto</b>	12792	67	90	98	99	100	100	98	90	67
<b>Torres</b>	20208	61	73	87	90	87	89	87	73	61
<b>Torres y bloques</b>	19556	71	85	96	100	100	98	96	86	71

Finalmente, en la figura 8, puede leerse claramente y de manera sintética los análisis obtenidos según la semaforización de la guía de certificación.

INDICADORES	VALORES REFERENCIA	MODELO DIFUSA	CLAUSTRO CERRADO	CLAUSTRO ABIERTO	TORRES	TORRES Y BLOQUES
						
Densidad de viviendas (Viviendas /ha)	80-160	28	124,3	98,4	116,4	91,2
Compacidad Absoluta (m)	>5	0,7	5,1	4,2	4,26	3,6
Compacidad Corregida (m2)	>10 - <50	0	0	13,0	9,9	8,9
Espacio de estancia por habitante (m2/habitantes)	>10 - <20	0	0	10,9	12,35	14,9
Índice Biotico del Suelo (%)	>35	41,9	20	48,1	64,7	61,3
Espacio verde por habitante (m2/habitante)	>10 - <20	2,4	1	10,9	12,4	14,9
Promedio % Superficie acceso al sol	>90	79	86	90	79	90

**Figura 8. Gráfico de correlación comparativo. Fuente: Elaboración Propia.**

Si se observa la tabla de correlación, las respuestas óptimas logradas están dadas en torno a las tipologías compactas. Para el *Claustro abierto* las mejoras se dan no sólo en términos de valores de IUS, sino también en porcentajes de disponibilidad de luz solar para sus distintas aplicaciones. La tipología *Claustro cerrado* si bien disminuye la capacidad de captación solar, mejora radicalmente ámbitos como el EP y el verde para los habitantes. Lo mismo sucede con la trama de Torres y Bloques, pero en este caso, cabe aclarar que las condiciones de asoleamiento e incorporación de luz natural se alcanzan en el 100% de las viviendas. La propuesta de *Torres*, tiene una buena performance, pero se debe ingerir, que las alturas superiores a 5 niveles, representan una diferencia de altura que perceptualmente no se adapta las condiciones de baja densidad de del entorno.

## Discusión y Conclusiones

En las últimas décadas, los modelos territoriales han sufrido grandes transformaciones evolucionando de modelos urbanos compactos, de centros definidos y carácter autónomo, a modelos de ciudad difusa. Estos procesos se han manifestado con la expansión y des-densificación de las áreas centrales y como consecuencia, los suelos agrícolas o naturales se convierten en suelos urbanos. El modelo de ocupación del urbanismo sustentable se configura como compacto, a fin de mitigar estos efectos, disminuyendo el consumo del suelo, buscando la máxima eficiencia en el uso de los recursos naturales y reduciendo la presión sobre los sistemas de apoyo. Por lo que se privilegia el uso de tipologías edificatorias de vivienda colectiva, para reunir en un mismo espacio una masa crítica de personas.

Pero es una realidad que la expansión urbana de ciudades correspondientes a países emergentes o en vías de desarrollo, sufren patrones de crecimiento disperso o difuso, promovidos fundamentalmente por las políticas habitacionales estatales, o como es el caso del AMM de Mendoza, por la proliferación de barrios privados. Más del 90% del total del área urbanizada es de baja densidad, manifestando una gran heterogeneidad en la forma y orientación de las manzanas. Por otro lado, proponer viviendas multifamiliares de elevadas alturas teniendo en cuenta las características de estas leves densidades existentes, no aparece como una situación ideal, sino que se generarían grandes y abruptos contrastes edilicios. Por lo que es necesario proponer modelos armónicos a la realidad de las tramas propias de nuestras ciudades.

Además, queda claro que estos abordajes deben ser desarrollados teniendo en cuenta las condicionantes ambientales locales de cada región (clima, topografía, hidrografía, etc.), considerando la disponibilidad global de los recursos como también las características y respuestas morfológicas de los modelos urbanos en términos de ahorro energético.

Ante estas nuevas tendencias, el trabajo presenta datos interesantes, con propuestas tipológicas de crecimiento gradual que representan modelos sustentables acordes a las condicionantes exhibidas. Los resultados arrojados demuestran que ante la complejidad que presenta el urbanismo sustentable, es posible poder contemplar resoluciones proyectuales que puedan abordar los distintos enfoques de la temática.

Finalmente, se pretende continuar profundizando en la temática. Como futuros estudios, contemplar el asoleamiento efectivo de las superficies horizontales de EP, evaluando la calidad térmica y visual de los mismos. Y además sumar y complejizar estos análisis con el anexo de otros indicadores de la guía, además de los alcances de nuevas temáticas de abordaje.

## Referencias

BUILDING (ENERGY EFFICIENCY) REGULATION. Hong Kong Government. 2005. Chapter 123 Buildings Ordinance and related regulations. Leg. M (L.N. 144 of 2005), Government Printer, Hong Kong.

- Brotas, L. 2010. Sunlight Availability in Urban Areas. Conference: CIE 2010 "Lighting Quality and Energy Efficiency", At Vienna, Austria, Volume: proceedings pp 638-643.
- Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). Reino Unido. <http://www.breeam.org/>
- Compagnon, R. Solar and Daylight availability in urban areas. PRECis project Final Technical Report, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, July 2000.
- Compagnon, R. Solar and daylight availability in the urban fabric, Energy and Buildings, Volume 36, Issue 4, April 2004, Pages 3 21-328, ISSN 03787788, 0.1016/j.enbuild.2004.01.009.
- Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE). Japón. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>
- Córica, L. (2010). Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas. Caso de estudio: ciudad de Mendoza. Tesis de Doctorado -Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión Herberto Büller. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán. Doctorado: 299.
- Córica, Lorena; Pattini, Andrea (2011) Evaluación del aporte de la componente reflejada de la luz natural en cañones urbanos de la ciudad de Mendoza, Argentina Revista Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA). Vol. 28 pp 9-16. (Diciembre 2011) ISSN: 0328-932X.
- Córica, L.; Mesa, N. A.; Pattini, A.; de Rosa, C. (2002) Influencia de la luz natural en entornos urbanos en climas soleados. Análisis y aplicabilidad de herramientas de evaluación. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 6, N° 1, 05.13-05.18. ISSN: 0329-5184. Argentina.2002.
- Córica, Lorena; Pattini, Andrea (2005) Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 9, N° I, 05.85-05.90.ISSN: 0329-5184. Argentina. 2005.
- Córica, L., Manrique, N. (2019) Evaluación de escenarios urbanos de baja densidad edilicia según las tendencias de crecimiento del área metropolitana de mendoza. Estudio y aplicación de indicadores del urbanismo sustentable. XXXVIII Encuentro y XXIII Congreso ARQUISUR. La producción de la Ciudad Contemporánea en el Cono Sur: Desafíos y perspectivas desde la arquitectura y el urbanismo. Octubre 2019. Universidad Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, Brasil.
- EMVS (2005) Ecobarrios en Europa. Nuevos entornos residenciales. Empresa Municipal de Vivienda y Suelo, Ayuntamiento de Madrid.
- Gaja i Díaz, F. (2008). Urbanismo Ecológico, ¿sueño o pesadilla? Sostenibilidad, tecnología y humanismo, 3, pp. 105-157.
- Goyette, J. & Compagnon, R. 2003. RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces Project : two case studies in Fribourg, Switzerland. In: ICUC-5 Fifth International Conference on Urban Climate., Lodz, Poland.
- Guzowski, Mary "Daylightinb for sustainable design" Editor Mc Graw Hill, 2000.
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y medioambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. Invi, 65 (24), pp. 79-111.
- Higueras, Ester. Urbanismo Bioclimático. Barcelona. Gustavo Gili, 2006
- Jakubiec, J. A.; Reinhart, C.F. 2014. Assessing disability glare potential due to reflections from new constructions: Case study analysis and recommendations for the future. Proceedings of the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting.
- Jenks, M. & Burgees R. (2000) "Compact Cities.Sustainable Urban Forms for Developing Countries" Spon Press, London.
- Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). EE.UU.
- Mesa N. A. et al, 2000. Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico computacional. Memorias del Ises Millennium Solar Forum 2000, ANES, PP. 1-6, ISBN No. 968-5219-01X, MÉXICO, D. F. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, Pp. 05.725 Ed. Millor, Salta, Argentina.
- Mesa N. A., et al, 2000. Evaluación del potencial solar en entornos urbanos. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 2, Pp. 11.01, Ed. Millor, Salta, Argentina.

- Mesa, A., et al., 2001. Incidence of morphological and technological features of building envelopes on the energy savings potential of urban building stocks in mesothermal arid regions cities. PLEA 2001, Florianópolis, Brasil.
- Monteoliva, J. M.; Villalba, A.; Pattini, A. Impacto de la Utilización de Bases Climáticas Regionales en la Simulación de Alta Precisión de Iluminación Natural. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 16, 2012.
- Monteoliva, J.M.; Pattini, A. 2013. Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en climas soleados. Ambiente Construido *On-line version* ISSN 1678-8621 Ambient. constr. vol.13 no.4 Porto Alegre Oct./Dec. 2013
- Pattini, A. La Luz Natural en las Escuelas: aprovechamiento y control de la luz solar en aulas. Buenos Aires: Dunken, 2009.
- PEREZ, R. et al. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components From Direct and Global Irradiance. Solar Energy, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990
- PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. All-Weather Model for Sky Luminance Distribution: preliminary configuration and validation. Solar Energy, v. 50, n. 3, p. 235-245, 1993.
- REINHART, C. F. et al. DIVA for Rhino Version 2.0. 2011. Disponible en: <<http://www.diva-for-rhino.com/>>. Acceso em: 25 nov. 2013.
- Rogers, R. (2000) Ciudades para un pequeño planeta. Gustavo Gili, España.
- RUEDA, Salvador. 2002. Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja: una visión de futuro más sostenible. Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona ; Agencia de Ecología Urbana, . 87 p.
- Rueda, S. (2014). Guía Metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano. Centro de publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, Madrid.