

# MODELANDO LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AMBIENTAL DE ENTORNOS URBANOS DE ALTA DENSIDAD COMO RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE REFORMAS AL CÓDIGO URBANO Y DE EDIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA.

**Mariela Arboit** – [marboit@lab.cricyt.edu.ar](mailto:marboit@lab.cricyt.edu.ar)

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. INCIHUSA - CONICET  
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Mendoza, Argentina

**Carlos de Rosa** – [cderosa@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:cderosa@mendoza-conicet.gov.ar)

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. INCIHUSA - CONICET  
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Mendoza, Argentina

**Resumen.** Se presentan los resultados de un estudio dirigido a determinar las consecuencias energético-ambientales de la implementación de un proyecto de reformas al Código Urbano y de Edificación preparado por la Municipalidad de la ciudad de Mendoza (Argentina). El objetivo principal de la reforma al código ha sido densificar el tejido urbano, que permitiría mejorar la eficacia funcional, controlando la expansión urbana periférica. Después de una evaluación de la propuesta municipal (PM), se concluyó que debían introducirse cambios importantes en la propuesta, generando una propuesta alternativa (PA) por parte de la unidad de I+D, que reduciría los impactos negativos de la PM manteniendo el objetivo principal de densificación del tejido urbano. En las primeras etapas del estudio, la labor se ha concentrado en los aspectos que parecen tener el mayor impacto negativo: la reducción del potencial solar y el deterioro de la calidad ambiental.

Metodológicamente, se han analizado los resultados a partir de aspectos cuantitativos y cualitativos. En lo energético, se han considerado la estimación de la reducción del acceso al recurso solar respecto a tres escenarios temporales: la situación de referencia (actual, sin cambios) y su evolución a mediano y largo plazo. Se han procesado 70 casos de estudio que comprenden 10 manzanas urbanas de alta densidad edilicia con sus alternativas de evolución futura resultantes de la nueva propuesta del municipio (PM) y de la propuesta alternativa (PA). Los resultados obtenidos indican que la reducción de la energía solar disponible por unidad de volumen construido sería sustancial.

Se presentan los resultados del análisis de ambas propuestas (PM y PA), según distintas alternativas morfológicas y combinaciones de las mismas, lo que constituye la parte sustancial de este trabajo. Los resultados indican que la PA presenta valores medios más altos del potencial solar previsto a mediano y largo plazo, expresados por el indicador Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV): MP30: 106, MP60: 73 y AP30: 141, AP60: 112 Mj/m<sup>3</sup>, respectivamente.

**Palabras clave:** Desarrollo urbano sostenible, morfología urbana y potencial solar

## 1. INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de Mendoza está próxima a alcanzar una población de un millón de habitantes. Su particular estructura física se nos presenta como un medio construido continuo en el que resulta difícil identificar las transiciones o las características propias de cada una de sus seis unidades administrativas, cinco de ellas desarrolladas alrededor de la Ciudad Capital, a través de largos procesos de conurbación. (Fig. 1 y 2)

Podría decirse que la mayoría de los múltiples problemas que afectan hoy a la ciudad, más allá de las particularidades propias de cada zona, son comunes al conjunto y deberían ser confrontados mediante una planificación urbana integral, para lo cual no existe todavía un organismo supra-municipal con capacidad suficiente para encarar tan compleja tarea.

La actualización de los Códigos de Edificación vigentes, debería ser el producto de dicha planificación apuntando a lograr en medios y largos plazos una ciudad ambiental y energéticamente sostenible, es una tarea ineludible que debería iniciarse sin dilaciones, con el fin de evitar mayores deterioros en el corto plazo, aún cuando no se haya dado forma todavía a un organismo de planificación para toda el Área Metropolitana.

Resulta imposible realizar un análisis detallado pero se adjunta un listado de los aspectos más relevantes y las estrategias a tener en cuenta para confrontarlos:

- Provisión de energía solar al sector edilicio urbano ante el agotamiento cierto de los combustibles fósiles, el gas natural en particular, en plazos relativamente breves y el acceso al sol restringido por la edificación en altura, cuando no se ha tenido en cuenta su utilización energética.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, debida a la combustión de energéticos fósiles en medios urbanos, lo que es condicionado por el punto precedente, ante la evidencia de que el cambio climático global ya se ha iniciado.
- Creación de un sistema de transporte urbano eficiente y “limpio” que sustituya al automóvil particular para movilizar a la población hacia y desde sus lugares de trabajo, evitando el despilfarro de energía y minimizando la contaminación.
- Preservación de los servicios ambientales y funciones de la arboleda urbana en el ambiente hostil que se generaría debido a la multiplicación de construcciones en altura en las que no se ha tenido en cuenta el espacio vital y el asoleamiento requerido por los árboles para su supervivencia.

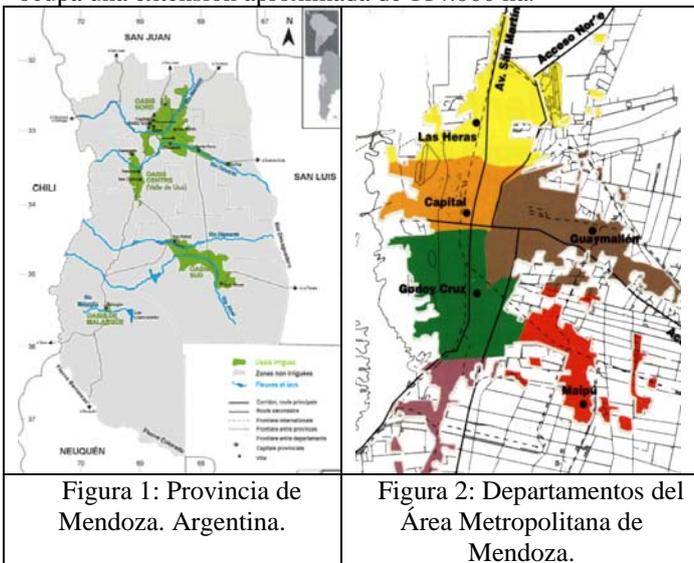
- Pérdida total de la fisonomía ambiental de Mendoza, reconocida internacionalmente como valioso ejemplo de “ciudad oasis”.
- Mitigación del fenómeno de “isla de calor urbana” que se verá seguramente agravado por la presencia masiva de edificación en altura y una arboleda en progresivo deterioro y por el calentamiento global.
- Reducción de los flujos de energía y materia (insumos y deshechos) a través del sistema urbano, que son necesarios para el funcionamiento de altas densidades poblacionales y edilicias.
- Insuficiencia de las redes de servicios existentes para abastecer a cantidades de población muy superiores a las originalmente previstas.

Muchos otros podrían citarse, en las escalas macro y micro-urbanas y edilicia.

- Control de la expansión de la periferia urbana sobre las tierras del ecosistema pedemontano y del oasis productivo.
- Máximo uso de los vacíos urbanos existentes compatible con proporciones recomendadas de espacios abiertos vegetados (parques y plazas).
- Ambas estrategias propuestas precedentemente apuntan a lograr en el futuro un hecho urbano que se aproxime al modelo urbanístico conocido como “ciudad compacta”.
- Asegurar para la ciudad futura una presencia del arbolado público que defina la fisonomía de la misma y asegure los máximos beneficios ambientales y energéticos posibles en ambas estaciones extremas, es decir: reducción de la “isla de calor” en verano y máxima permeabilidad solar en invierno.
- Adecuada orientación de las tramas vehiculares en nuevos loteos, para maximizar las posibilidades de captación solar.
- Minimizar el sellamiento de suelos en los espacios públicos y establecer límites para el sellamiento en espacios abiertos privados.

## 2. SITUACIÓN DE REFERENCIA

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), cuenta actualmente con una población cercana al millón de habitantes y ocupa una extensión aproximada de 114.000 ha.



La región estudiada está localizada en el centro-oeste de Argentina (latitud: -32,88, longitud: 68,85, altitud: 827 m.s.n.m.); presenta un clima mesotermal árido con inviernos templado-fríos, veranos cálido-secos e intensa radiación solar durante todo el año (media anual: 18,06 Mj/m<sup>2</sup> día); otros datos climáticos significativos son: horas anuales en confort: 21,53 %, calefacción necesaria: 70,14 % y enfriamiento necesario: 8,33 %. Los valores de las variables climáticas del AMM proveen suficiente justificación para proponer el máximo aprovechamiento del recurso solar en áreas urbanas, en conjunción con estrategias no-tradicionales de conservación de energía en las construcciones de la ciudad. Esto permitirá un avance significativo en el camino hacia la futura sustentabilidad energética y ambiental de los medios urbanos regionales. (Basso et al., 2003), (Fernández et al., 2001).

## 3. PROPUESTA DEL MUNICIPIO

El Código Urbano y de Edificación de la Ciudad de Mendoza, revisado por última vez en 2000 y adoptado con mínimos cambios por las restantes 5 comunas que conforman el AMM, presentaba ya serias deficiencias y atrasos en sus requerimientos energéticos y ambientales, poniendo en evidencia la oportunidad de actualizar sus exigencias de diseño y tecnología, en las escalas urbana y edilicia, encauzando progresivamente el desarrollo de la ciudad hacia un modelo energética y ambientalmente sostenible.

Con el objetivo de realizar una reforma al Código, la Municipalidad de Mendoza propone densificar el tejido urbano en zonas residenciales consolidadas, mediante “5 estrategias: densificación de áreas subutilizadas, recuperación de sectores deprimidos, desarrollo de nuevas centralidades, conservación de áreas residenciales y preservación de la calidad y patrimonio ambiental de la ciudad.” (Bragagnini, 2009). Operativamente, se proponen valores revisados de retiros frontales, laterales y posteriores, número de pisos máximos y mínimos de los edificios, valores máximos y mínimos revisados de Factores de Ocupación (FOS y FOT) para las diferentes zonas de una zonificación revisada del área urbana del municipio. Fig. 3 y Tab. 1 (Ordenanza de Zonificación, 2009)

La estrategia propuesta para poder alcanzar los máximos números de niveles de pisos consiste en alentar la unificación de dos o más parcelas contiguas, estableciendo valores tope de altura según las superficies de los terrenos resultantes, con límites definidos de: hasta 500 m<sup>2</sup>, entre 500 y 1.500, entre 1.500 y 2.500 y más de 2.500 m<sup>2</sup>. En el último caso se permitiría acordar una morfología no regulada por el código, por parte de una comisión designada a ese efecto.

Un primer análisis de la situación que plantea la propuesta del Municipio los resultados indicaron que la implementación masiva de la misma produciría drásticos cambios en la fisonomía urbana, que pondrían en crisis las condiciones de habitabilidad en medios plazos y continuarían profundizando el deterioro del ambiente urbano y la sostenibilidad del parque edilicio en el largo plazo.



Tabla 1. Planilla de indicadores propuestos por la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza.

ZONA	Área de Lotes	FOS Min	FOS Max	FOT Min	FOT Max	Niveles		Retiros		Separac. Torres
						Min(Nº)	Max(Nº)	Late	Poster	
Central	de 1500 a 2500m2	0.4	0.7	2.8	7	4	18	1/7 h	2 x 1/7 h	2 x 1/7 h
	de 500 a 1500m2	0.5	0.8	2.4	6	3	12	1/7 h	2 x 1/7 h	2 x 1/7 h
	a500m2	0.6	1	2	4	2	7	1/7 h	2 x 1/7 h	2 x 1/7 h
C1	de 1500 a 2500m2	0.4	0.5	2.5	6	5	15	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h
	de 500 a 1500m2	0.5	1.6	2.4	5	4	10	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h
	a 500m2	0.6	0.7	2.1	3	3	5	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h
C2	de 1500 a 2500m2	0.4	0.5	2	4.8	4	12	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h
	de 500 a 1500m2	0.5	0.6	1.8	4	3	8	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h
	a 500m2	0.6	0.7	1.4	2.4	2	4	1/6 h	2 x 1/6 h	2 x 1/6 h

Figura 3: Zonificación de Ciudad PM

#### 4. PROPUESTA ALTERNATIVA

Desde que la unidad de I+D implicada en el estudio de la de la Propuesta Municipal, se concluyó que sería necesario modificar parcialmente la propuesta para revertir las consecuencias previsibles más conflictivas, manteniendo al mismo tiempo, el objetivo de densificar el tejido urbano en zonas residenciales consolidadas. Se decidió generar una propuesta alternativa (PA) para la totalidad del área urbana municipal. El presente estudio se limita al análisis de las 5 zonas más densas que generan un alto impacto en el tejido urbano, con el objetivo de mejorar la propuesta para niveles de densificación similares.

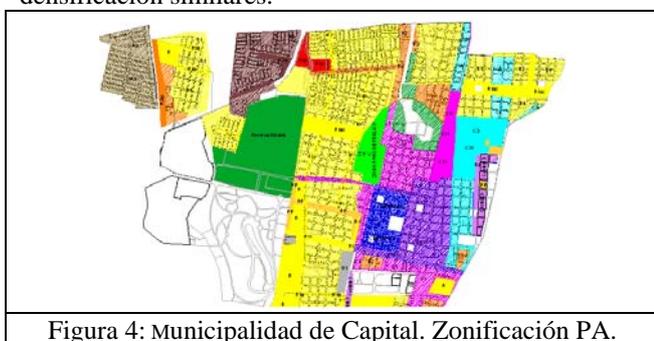


Tabla 2. Variables morf. principales de la PM y PA.

	Zona	Niveles Nº		Altura (m)		Max. dif. de		Nivel Medio
		Min	Max	Min	Max	Niv.	Alt.	
PM	Central 1	2	18	6	54	16	48	10
PA		8	10	24	30	0	6	9
PM	Central 2	2	12	6	36	10	30	7
PA		8	10	24	30	0	6	9
PM	Central 3	3	24	9	72	21	63	13.5
PA		12	14	36	42	2	9	13
PM	C1-C1t	2	15	6	45	13	39	8.5
PA		6	8	18	24	0	6	7
PM	C2	2	15	6	45	13	39	5.5
PA	C2- C2as	6	8	18	24	0	6	7

Figura 4: Municipalidad de Capital. Zonificación PA.

Los impactos negativos más críticos de la implementación masiva de la P.M. se concentran en dos variables fundamentales: la amplitud excesiva entre las alturas máximas y mínimas edilicias y la heterogeneidad morfológica del tejido urbano resultante. Ambas variables se obtienen aplicando los valores máximos y mínimos de Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y de Factor de Ocupación Total (FOT), para cada zona identificada. El problema de la amplitud de alturas edilicias en una misma manzana se ha previsto a expensas de la homogeneidad morfológica del tejido urbano, una característica esencial para la consolidación de un ambiente urbano armonioso.

La propuesta alternativa (PA) generada a partir de la corrección de las principales limitaciones en la PM, se basa en dos objetivos fundamentales: preservar la actual fisonomía de la “ciudad del oasis”, reduciendo la heterogeneidad morfológica a partir de limitar a dos niveles la diferencia entre alturas máximas y mínimas para todas las zonas consolidadas. En las zonas de alta densidad se propone limitar la altura mínima a 6 niveles (18 m.), y la máxima a 8 (24 m.); permitiendo de 8 a 10 niveles (24 a 30 m.) en las zonas centrales en donde ya existen edificios de esas alturas.

#### 5. METODOLOGIA. TRABAJO PREVIO

En trabajos previos se pudo completar el estudio del potencial solar de entornos representativos de baja y alta densidad del Área Metropolitana de Mendoza –AMM- (Argentina).

En esta etapa ha sido indispensable avanzar con el estudio de la nueva normativa propuesta por el municipio a partir del análisis de la situación actual, y explorando distintos escenarios alternativos previsibles y sus resultados, contribuyendo a identificar las estrategias más eficientes para posibilitar su viabilidad normativa en medios y largos plazos. En la actualidad se cuenta con los datos relevados de 45 manzanas urbanas del AMM de traza en cuadrícula, con un nivel de información detallada. Se han analizado, en el PICT 98, 11 manzanas de alta densidad, y posteriormente se han analizado 32 casos de estudio de baja densidad.

En el presente trabajo se ha considerado necesario ampliar el conjunto de análisis para 10 manzanas de alta densidad incluyendo la presencia del arbolado y definiendo 70 subconjuntos representativos de la evolución previsible a mediano y largo plazo.

Para cada unidad de análisis (manzana urbana) se ha determinado la volumetría resultante de la máxima densificación permitida por el código de edificación propuesto por el municipio y una propuesta alternativa para su estudio comparativo con las de la situación de referencia.

Si bien el desarrollo metodológico de esta investigación ha sido ya parcialmente informado (Arboit, et al. 2007, 2010), se estima necesario presentar aquí una síntesis del mismo con el fin de facilitar la comprensión de los resultados que se presentan por primera vez en este trabajo.

Las etapas ya concluidas han sido:

1. Recopilación de la información catastral disponible y mapeo. Zonificación de áreas de alta densidad a considerar en el estudio.
2. Definición de un conjunto de variables morfológicas, urbanas y edilicias, para el análisis de su incidencia en el acceso al recurso solar de los edificios urbanos.
3. Variables urbanas: Orientación de las manzanas \* (no ha sido considerada en el presente estudio ya que todas las unidades de análisis comparten la misma disposición angular en el tejido urbano regular; Ancho de los canales viales (distancia entre las líneas de la construcción) valores típicos: 13.00, 16.00, 20.00 y 30.00 m); Retiros de torres (SB): está en función del ancho de calle y de la altura edilicia, se definen retiros frontales, laterales y posteriores- (m. o 1/altura edilicia); Estructura del Arbolado Urbano: magnitud (en función de las dimensiones del fenotipo -entre 1ra y 5ta magnitud-) , permeabilidad (permeabilidad estacional medida localmente como porcentaje) y completamiento (numero posible máximo de árboles alrededor de la manzana urbana como porcentaje); Morfología edilicia: está representada por 14 tipos que consideran situaciones: homogéneas, heterogéneas, compactas y abiertas (combinadas) presentes en la morfología actual y su combinación con la altura edilicia. Factor de Ocupación del Suelo (FOS): es la relación entre el área de un edificio construida en planta baja y la superficie total construible del terreno. Factor de Ocupación Total (FOT): es la relación entre el área total construida de un edificio y la superficie total construible del terreno. (Tabla 1)
4. Selección de una muestra representativa de manzanas urbanas para su análisis detallado. Se determina un conjunto preliminar de 10 unidades, incluyendo tipologías de manzanas y edificios, en entornos urbanos de alta densidad.
5. Relevamientos “in situ” de las unidades de estudio y elaboración de modelos 3D. Cada conjunto edilicio está compuesto por los edificios construidos sobre la misma manzana, unificando en el cálculo la sumatoria de todos los valores, como si se tratara de un solo edificio.
6. Elaboración de los modelos definidos como casos de estudio: Los modelos 3D determinados para evaluar las actuales condiciones de las manzanas urbanas fueron revisados, suprimiendo todos los edificios existentes obsoletos (considerando aquellos de más de 60 años, de bajo mantenimiento, usos incompatibles o valor comercial bajo). Un nuevo conjunto de 10 casos de estudio fue definido, eligiendo las alternativas con mayor potencial para el desarrollo de alta densidad, para cada una de las 5 zonas bajo análisis. Se han realizado los modelos 3D de la situación actual sin cambio triplicando el número de corridas considerando dos valores alternativos de permeabilidad del arbolado urbano: un caso base (sin árboles) para poder apreciar el impacto del arbolado y posteriormente dos permeabilidades distintas que permiten estimar a futuro las obstrucciones a medianos y largo plazo. Evolución a mediano y largo plazo de las morfologías urbano-edilicias: A partir de la situación de referencia (actual, sin cambios), se han elaborado los modelos de la situación modificada (máxima densificación posible permitida por la nueva normativa propuesta por el municipio (PM) y la propuesta alternativa (PA) para un período de mediano y largo plazo. La metodología está dirigida a determinar la evolución posible de los 10 “casos- base”, si se asume que, a mediano plazo, el 50% de los edificios más obsoletos serán demolidos o sustituidos por nuevas construcciones y el 50% restante será demolido y sustituido a largo plazo. Esto no significa que el reciclaje de edificios viejos no sea posible, pero fue excluida esta posibilidad del análisis para una simplificación.
7. Determinación del acceso al sol de superficies verticales orientadas al norte, mediante el uso de un modelo gráfico-computacional: el mismo trabaja dibujando y luego midiendo las áreas de los distintos sectores graficados sobre perspectivas axonométricas “vistas desde el sol”. El modelo se corre para las 5 (cinco) horas centrales del día y para 6 (seis) días-tipo mensuales de invierno.
8. Determinación del indicador solar que expresa las distintas relaciones entre la morfología urbana y el aprovechamiento solar de las unidades de análisis:

· Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV): Expresa la relación entre la energía total neta incidente sobre superficies verticales al norte (+/- 15°), no enmascaradas, durante un ciclo anual de calefacción y el volumen total de los espacios a calefaccionar. El indicador es posiblemente el que mejor describe el potencial solar para calefacción de espacios mediante sistemas solares pasivos, en particular, la Ganancia Directa, en MJ/m<sup>2</sup> año. Su expresión matemática es:

Donde:

Afn: Área total potencialmente colectora en fachadas norte (m<sup>2</sup>)

Aes: Área de enmascaramiento sólido (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m<sup>2</sup>)

Aep: Área de enmascaramiento permeable (árboles): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado urbano, se aplican los porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal, para determinar el área de captación real (m<sup>2</sup>)

P: Factor de Permeabilidad: porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal (%).

R (m-d-h): Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m<sup>2</sup>).

m: N° de meses a calefaccionar (n), d. N° de días mensuales (5), h: N° de horas diarias(n).

$$FAV = \frac{\sum_{m:4}^{08} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.30}^{14.30} [Afn - (Aes + (Aep \cdot (1-P)))] \cdot R}{\text{Volumen a calefaccionar}} \quad (1)$$

El indicador definido para el cálculo en superficies verticales (muros norte) se replicó para superficies horizontales de techos asoleados a fin de determinar el potencial solar de calentamiento de agua para uso doméstico.

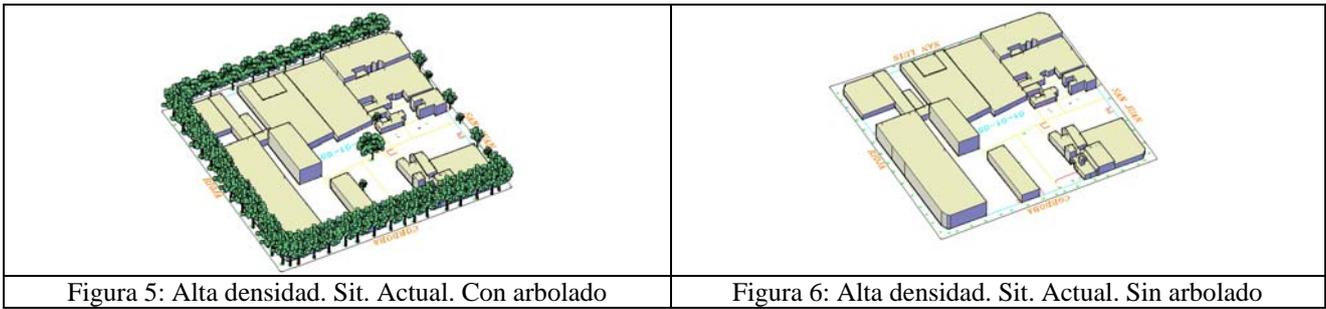


Figura 5: Alta densidad. Sit. Actual. Con arbolado

Figura 6: Alta densidad. Sit. Actual. Sin arbolado

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados del estudio comparativo para las manzanas seleccionadas de alta densidad edilicia, en la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación posible permitida por la nueva normativa propuesta y por la propuesta alternativa) a mediano y largo plazo.

Tabla 3: Variables explicativas y variables respuesta.

Unidad N°	Tiempo *	VARIABLES EXPLICATIVAS							VARIABLES RESPUESTA			
		MORFOLOGÍA URBANA Y EDILICIA							FAV / n.	FAV /	FAV Total	
		Ancho de Canal Vial	Retiros	Mag	Perim**	Comp	Morf Edilicia**	FOS				FOT
1	1	19.21	0	0	1	0	1	0.37	0.88	0.56	1.67	2.23
2	1	19.21	0	2	4	58	1	0.37	0.88	0.41	1.56	1.96
3	1	19.21	0	2	3	58	1	0.37	0.88	0.41	1.56	1.97
4	2	19.21	1/7	0	1	0	3	0.60	5.01	0.36	0.38	0.74
5	3	19.21	1/7	0	1	0	3	0.54	6.15	0.33	0.27	0.59
6	4	19.21	1/7	0	1	0	12	0.77	3.53	0.33	0.77	1.10
7	5	19.21	1/7	0	1	0	12	0.71	4.29	0.34	0.58	0.91
8	1	20.05	0	0	1	0	1	0.38	1.47	0.96	0.90	1.86
9	1	20.05	0	1	5	90	1	0.38	1.47	0.75	0.77	1.52
10	1	20.05	0	1	4	90	1	0.38	1.47	0.72	0.74	1.46
11	2	20.05	1/5	0	1	0	5	0.57	3.51	0.55	0.50	1.05
12	3	20.05	1/5	0	1	0	5	0.47	4.28	0.49	0.37	0.86
13	4	20.05	1/5	0	1	0	12	0.59	2.67	0.58	0.79	1.37
14	5	20.05	1/5	0	1	0	12	0.46	2.31	0.63	0.84	1.47
15	4	20.05	1/3	0	1	0	12	0.50	2.43	0.65	0.81	1.46
16	5	20.05	1/3	0	1	0	12	0.59	2.63	0.76	0.80	1.57
17	1	8.06	0	0	1	0	1	0.44	0.59	1.26	3.02	4.28
18	1	8.06	0	3	7	81	1	0.44	0.59	1.20	2.94	4.14
19	1	8.06	0	3	3	81	1	0.44	0.59	1.20	2.95	4.15
20	2	8.06	1/7	0	1	0	7	0.35	4.13	0.24	0.33	0.57
21	3	8.06	1/7	0	1	0	7	0.30	7.21	0.18	0.18	0.35
22	4	8.06	1/7	0	1	0	13	0.35	2.50	0.53	0.50	1.03
23	5	8.06	1/7	0	1	0	13	0.30	4.20	0.44	0.30	0.75
24	1	29.92	0	0	1	0	1	0.31	0.70	0.61	1.68	2.29
25	1	29.92	0	2	3	83	1	0.31	0.70	0.33	1.44	1.77
26	1	29.92	0	2	2	83	1	0.31	0.70	0.31	1.42	1.73
27	2	29.92	1/6	0	1	0	9	0.49	3.46	0.42	0.52	0.94
28	3	29.92	1/6	0	1	0	9	0.41	5.70	0.42	0.29	0.71
29	4	29.92	1/6	0	1	0	14	0.54	2.08	0.45	1.00	1.44
30	5	29.92	1/6	0	1	0	14	0.50	2.98	0.47	0.69	1.16
31	1	18.23	0	0	1	0	1	0.36	0.65	0.43	2.24	2.67
32	1	18.23	0	3	7	50	1	0.36	0.65	0.36	2.17	2.52
33	1	18.23	0	3	5	50	1	0.36	0.65	0.37	2.18	2.55
34	2	18.23	1/6	0	1	0	11	0.50	1.84	0.53	1.02	1.55
35	3	18.23	1/6	0	1	0	11	0.41	3.48	0.53	0.47	1.00
36	4	18.23	1/6	0	1	0	14	0.54	1.64	0.55	1.22	1.77
37	5	18.23	1/6	0	1	0	14	0.50	2.86	0.58	0.72	1.31
38	1	16.45	0	0	1	0	1	0.62	1.05	0.23	2.41	2.64
39	1	16.45	0	1	6	100	1	0.62	1.05	0.14	2.15	2.29
40	1	16.45	0	1	2	100	1	0.62	1.05	0.11	2.05	2.16
41	2	16.45	1/7	0	1	0	2	0.70	1.92	0.42	1.24	1.65
42	3	16.45	1/7	0	1	0	2	0.71	4.65	0.34	0.38	0.71
43	4	16.45	1/7	0	1	0	12	0.70	1.72	0.52	1.67	2.19
44	5	16.45	1/7	0	1	0	12	0.73	3.85	0.45	0.63	1.08
45	1	19.81	0	0	1	0	1	0.46	1.91	0.73	0.68	1.41
46	1	19.81	0	1	5	97	1	0.46	1.91	0.40	0.69	1.09
47	1	19.81	0	1	2	97	1	0.46	1.91	0.36	0.67	1.03
48	2	19.81	1/5	0	1	0	4	0.65	2.94	0.41	0.6	1.01
49	3	19.81	1/5	0	1	0	4	0.58	3.10	0.30	0.58	0.88
50	4	19.81	1/5	0	1	0	12	0.65	2.80	0.56	0.68	1.24
51	5	19.81	1/5	0	1	0	12	0.58	2.66	0.61	0.76	1.37
52	1	9.58	0	0	1	0	1	0.65	0.79	1.20	3.38	4.58
53	1	9.58	0	3	4	71	1	0.65	0.79	0.96	3.24	4.19
54	1	9.58	0	3	6	71	1	0.65	0.79	1.02	3.27	4.29
55	2	9.58	1/7	0	1	0	6	0.65	5.53	0.33	0.27	0.60
56	3	9.58	1/7	0	1	0	6	0.3	7.20	0.19	0.18	0.36
57	4	9.58	1/7	0	1	0	13	0.72	4.42	0.44	0.44	0.87
58	5	9.58	1/7	0	1	0	13	0.30	4.20	0.32	0.30	0.63
59	1	20.01	0	0	1	0	1	0.66	0.90	0.59	2.96	3.55
60	1	20.01	0	2	4	77	1	0.66	0.90	0.48	2.67	3.15
61	1	20.01	0	2	6	77	1	0.66	0.90	0.50	2.74	3.25
62	2	20.01	1/6	0	1	0	8	0.54	4.10	0.45	0.45	0.90
63	3	20.01	1/6	0	1	0	8	0.53	4.58	0.41	0.36	0.78
64	4	20.01	1/6	0	1	0	14	0.56	3.19	0.53	0.75	1.28
65	5	20.01	1/6	0	1	0	14	0.55	4.58	0.45	0.45	0.90
66	1	16.95	0	0	1	0	1	0.51	0.67	0.55	3.02	3.57
67	1	16.95	0	3	7	55	1	0.51	0.67	0.47	2.87	3.35
68	1	16.95	0	3	3	55	1	0.51	0.67	0.48	2.88	3.36
69	2	16.95	1/6	0	1	0	10	0.45	1.74	0.70	0.83	1.54
70	3	16.95	1/6	0	1	0	10	0.52	2.96	0.50	0.53	1.04
71	4	16.95	1/6	0	1	0	14	0.45	1.62	0.72	0.98	1.7
72	5	16.95	1/6	0	1	0	14	0.51	3.08	0.52	0.65	1.17

Analizando los 70 casos de estudio los valores extremos son:

**Para la máxima captación solar:** caso de estudio 52 con un valor de FAV Total=4.58 dicha manzana se encuentra en la zona central 3 actualmente una zona de baja densidad edilicia. La característica es una manzana en la situación actual sin cambio con morfología edilicia homogénea (1), valores de FOS: 0.65 y FOT: 0.79 y corrida sin arbolado.

**Para la mínima captación solar:** caso de estudio 21 con un valor de FAV Total= 0.35. La manzana se encuentra dentro de la zona central 3, resultado de la implementación de la propuesta municipal MP a largo plazo, máxima densificación posible. La manzana presenta la siguiente morfología: valor de Retiros bajo 1/7, morfología edilicia=7, presenta el valor más bajo de FOS=0.30 de todo el conjunto muestral y el valor más alto de FOT=7.21 que permite construir el máximo en altura pero arrojando gran cantidad de sombras a las torres vecinas.

En el caso de mínima captación solar el peso de la altura edilicia y de la morfología es muy alto.

**Para los valores medios de captación solar:**

Los valores medios están dados por los casos 25 y 36

La manzana 25 ubicada en la zona comercial 1, corrida para la situación presente actual sin cambios, posee un ancho de canal vial de 29.92 m. esto permite un acceso pleno al recurso solar sin obstrucciones sobre la vereda norte. Los valores FOS y FOT son cercanos a los mínimos FOS=0.31 y FOT=0.70. En la situación actual existe gran cantidad de lotes baldíos y si bien hay edificios en altura están sobre la fachada norte que permiten gran cantidad de acceso al recurso solar, al mismo tiempo gran cantidad de techos disponibles para la captación solar. La morfología edilicia es 1.

Las características del arbolado son: 2° magnitud, permeabilidad de 36,21, y un 83% de completamiento del arbolado en la manzana.

La manzana 36 ubicada en la zona comercial 2. Está corrida para la propuesta alternativa (PA) en una situación de mediano plazo. Las características son: ancho de canal vial de 16.45m, retiros de 1/6, FOS= 0.54 y FOT= 1.64

El valor de FOS se acerca al valor medio propuesto por el MP para la Zona C2 mientras el FOT se ubica en los mínimos valores de la MP para dicha zona. La manzana esta corrida sin la presencia de arbolado y con una morfología edilicia de 14.

Los valores de captación en muros y techos se asemejan a la media general.

\*Tiempo\*propuesta: 1=Situación actual sin cambios (Situac.Actual); 2= Propuesta Municipal a Mediano Plazo(PM Med.P);3= Propuesta Municipal a Largo Plazo (PM Largo.P);4= Propuesta Alternativa a Mediano Plazo(PA Med.P);5= Propuesta Alternativa a Largo Plazo (PA Largo.P)

\*\* Morf. Edilic: (1-14): comprende la altura edilicia y el índice de homogeneidad: diferencia entre los edificios altos y bajos.

\*\*\*Permeabilidad del arbolado : 1 =100; 2 =24,09; 3 =36,21; 4 =27,47; 5 =46,23; 6 =47,26; 7 =26,42

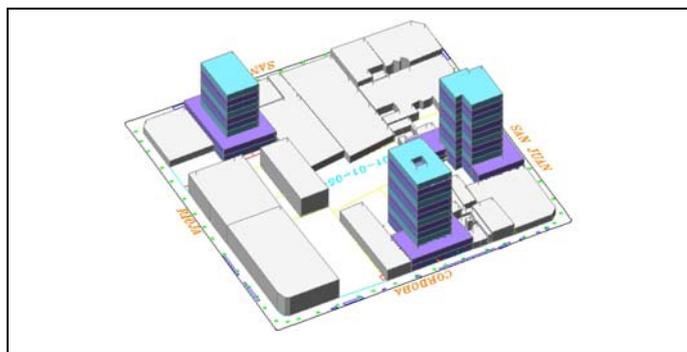


Figura 7: Zona C1. Propuesta Municipal (PM Med.P).

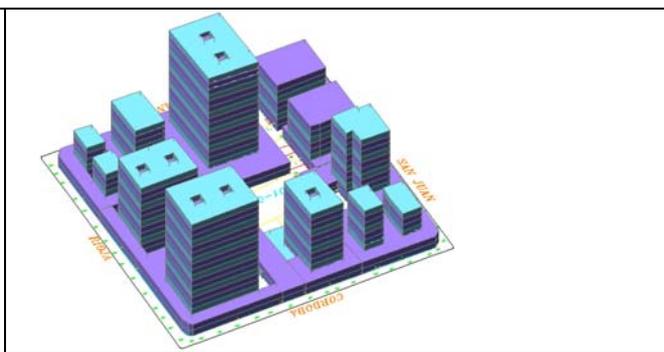


Figura 8: Zona C1. Propuesta Municipal (PM Largo.P).

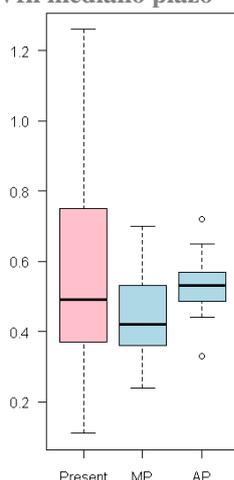
En la Tabla 4 se presentan los resultados medios generales del indicador FAV

Tabla 4: Medias Generales

FAV f.n.	FAV t.	FAV Total
0.52	1.24	1.76

El análisis comparativo nos permite contrastar el comportamiento de la variable FAV en las diferentes situaciones (actual, PM y PA en el mediano y el largo plazo). De él resulta que existen diferencias altamente significativas entre los valores medios de FAV a mediano y largo plazo cuando se aplica la propuesta municipal y cuando se aplica la propuesta alternativa.

FAVfn mediano plazo



FAVfn largo plazo

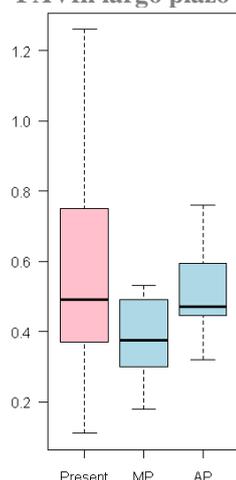


Figura 9 y 10: FAVfn. Situación Actual Propuesta Municipal y Propuesta Alternativa a mediano y largo plazo.

En la Figura 9 y 10 se presentan la comparación de los resultados de FAVfn a mediano y largo plazo en la cuál se observan los impactos producidos por ambas propuestas de modificación al código: PM y PA. En rosado se observa la situación actual sin cambios. Como era esperado, su variabilidad es mayor que los resultados de las simulaciones de ambas propuestas: proyecto municipal (PM) y proyecto alternativo (PA), con una desviación estándar de 0.328 (situación actual) contra 0.128 y 0.104 para la PM y PA respectivamente a mediano plazo, y 0.123 y 0.131 para la PM. y el PA a largo plazo).

Por otro lado, los resultados mostrados en celeste para la variable FAVfn PA demuestran valores medios más altos (representados por las líneas horizontales dentro de las cajas) que la P.M. (valor medio de 0.533 para FAVfn de la PA contra 0.441 de la P.M. a mediano plazo, y 0.506 para la PA contra 0.361 para la P.M. a largo plazo).

En la Tabla 5 se presentan los resultados medios para cada situación analizada: (Situación presente, PM y PA considerando el mediano y largo plazo de crecimiento y renovación urbana)

Situación	FAV total
Situación Presente	2.70
PM Mediano Plazo	1.06
PM Largo Plazo	0.73
PA Mediano Plazo	1.41
PA Largo Plazo	1.12

Los valores medios de FAV total a mediano plazo es significativamente mayor para la AP= 1.41 que para MP=1.06. Los valores de la media a largo plazo son menores que a mediano plazo motivados por la densificación futura que reduce el acceso al sol, sin embargo los valores de la media para la AP = 1.12 es significativamente mayor que para la MP= 0.73

Las notables amplitudes de los rangos entre los valores de cada indicador, ponen en evidencia las importantes posibilidades de mejoramiento que podrían obtenerse mediante un adecuado diseño de las morfologías urbanas y edilicias en la región.

## 7. CONCLUSIONES

La investigación, en primer lugar, verifica la factibilidad para la implementación de estrategias de utilización de la energía solar para calefacción de espacios, calentamiento de agua sanitaria y eventual generación fotovoltaica “in situ”,

en medios urbanos residenciales de alta densidad de ciudades andinas, en la región mesotermal árida del centro-oeste de Argentina.

Varios tipos de conclusiones pueden extraerse de los resultados. La factibilidad del aprovechamiento de la energía solar para los usos previstos en entornos urbanos de alta densidad, ha quedado demostrada en forma concluyente. Los aspectos técnicos han prevalecido en el análisis de las actuales condiciones del hábitat urbano, apuntando prioritariamente a determinar la relación entre la morfología urbana y el potencial solar, para establecer desde una base sólida una normativa realista y viable. Dicha normativa podría adoptarse progresivamente para satisfacer las demandas de desarrollo urbano, contemplando una disposición sostenible de la energía y la calidad ambiental en las ciudades andinas del centro-oeste argentino.

El estudio permitió correlacionar los valores del potencial solar del parque edilicio urbano actual de alta densidad, resultantes de las simulaciones realizadas con el modelo gráfico-computacional, con el conjunto de variables explicativas urbanas y edilicias. Los resultados técnicos cuantitativos, con una metodología convencional, demuestran claramente ventajas significativas ejecutando una normativa que contemple el uso del recurso solar.

En cuanto al estudio comparativo de las modificaciones para la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación propuestas por la PM y la PA del nuevo código de edificación) a mediano y largo plazo, los valores están demostrando claramente que la estrategia de densificación de la trama urbana no es de aplicación ilimitada con impactos energéticos negativos, debido al bloqueo de la radiación solar con fuerte gravitación sobre los crecientes requerimientos energéticos del parque edilicio y sobre la calidad ambiental del paisaje urbano.

Considerando ahora las conclusiones específicamente técnicas del estudio realizado, son pertinentes los siguientes comentarios:

- i. Las variables morfológicas de las configuraciones urbanas y edilicias tienen una incidencia fundamental en la factibilidad técnica de implementar estrategias de aprovechamiento de la energía solar en medios urbanos. Los usos de calefacción solar pasiva y activa de espacios y calentamiento solar de agua sanitaria, son factibles de implementar para aprovechar “in situ” el único recurso energético natural disponible sobre el medio urbano del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) que presenta, además, otras ventajas apreciables: llega a la superficie uniformemente distribuido y no requiere de redes de distribución, es inagotable y no-contaminante.
- ii. Las configuraciones urbanas existentes analizadas en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), presentan características diferenciales importantes, con respecto a variables urbanas y edilicias.

Los resultados, reafirman las experiencias ganadas con muchos años de estudio regional, demostrando que es posible alcanzar niveles más altos de sostenibilidad energética en el ambiente construido, con un control adecuado de la morfología y tecnología de las construcciones urbanas. La motivación principal para el estudio era mejorar la propuesta municipal desarrollada para el cambio normativo del código cubano la cual ha sido demostrada con el fin de actualizar un instrumento normativo en vigor desde 2003.

## 8. RECOMENDACIONES

### **En la escala microurbana:**

Control de la volumetría edilicia para asegurar máximo aprovechamiento de los recursos climáticos regionales: radiación solar, iluminancia natural y brisas estivales. Implica: factores de ocupación (FOS y FOT), límites de altura de los edificios, definición de zonas de alta y baja densidad edilicia, homogeneidad de las tramas urbanas, orientación óptima de la trama, definición de retiros frontales, laterales y posteriores garantizando un “pulmón de manzana” de características adecuadas a la densidad de la zona.

### **En la escala edilicia:**

*Conservación de energía:* Comenzar a introducir, en forma gradual y progresiva, la exigencia de mejores niveles de aislación térmica en componentes opacos de las envolventes edilicias, compatibles con la rentabilidad económica en cada etapa. Prestar atención la calidad de las ventanas, en las que deben controlarse las infiltraciones mediante dobles contactos y burletes y las pérdidas por conducción mediante la implementación de dobles vidrios y protecciones móviles, externas o internas.

*Captación solar:* Comenzar a ponderar las ventajas de la buena orientación del edificio y la ubicación de los espacios principales (estares, comedores y dormitorios) sobre las fachadas al norte, de manera de optimizar su asoleamiento en invierno.

La dimensión de las ventanas al norte debe estar en función de la necesidad de calefacción y deberían tener un área vidriada neta acorde con dicha necesidad. Deberían minimizarse las superficies de las ventanas al este y al oeste dimensionar las ventanas al sur para obtener ventilación cruzada.

*Acceso al sol:* La situación actual de acceso al sol como recurso energético en la ciudad es deficitaria. En sectores de alta baja y medias densidades debería tenderse hacia una maximización del uso del recurso para calefacción de espacios.

En el momento presente, la primera medida a implementar debería apuntar a no deteriorar el acceso al recurso solar existente.

## REFERENCIAS

- Arboit, M.; Mesa, A Diblasi, A.; Fernandez Llano, J. C. y de Rosa, C. 2010. Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. Renewable Energy. Elsevier Editorial System. Vol. 35 p.1551-1558 ISSN 0960-1481. UK.
- Balcomb J. D, et al.: Passive Solar Design Handbook. Vol. 3. American Solar Energy Society, Inc New York. 1983
- Bragagnini, S. 2009. Una propuesta para orientar el desarrollo de la ciudad. Infoguía de la Arquitectura. Colegio de Arquitectos de Mendoza.
- Breheny, M.;1996. Centrists, Decentrists and Compromisers: Views on the Future of Urban Form. The Compact City. A Sustainable Urban Form?. E&FN SPON. UK.
- Código 2003. 5, Bragagnini. Nicolini 7. Weisman
- de Rosa, C.; Arboit, M. “La Arboleda Urbana de Mendoza – Un Capital Ambiental Amenazado”. Revista Infoguía de la Arquitectura. CAM. En prensa. Mendoza 2011.
- Dirección de Planificación Urbanística, Municipalidad de la Ciudad de Mendoza. 2009. Ordenanza de Zonificación por Indicadores Urbanos.
- Dresner, Simon. 2001. The Principles of Sustainability. Earthscan, London.
- Meadows D.H, Randers J & Meadows D.L: Limits to Growth. The 30-Year Update. Chelsea Green
- Mesa NA, 2000. Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. Memorias from the: ISES Millennium Solar Forum. ANES, México, DF.
- Nicolini, A., 1990. “Las Cuatro Etapas de la Ciudad Argentina”. Cuaderno Temático N° 9. Tucumán, 1990. Publishing Company. USA. 2002.
- Ruiz de Lima, G.: “Mendoza, Metrópolis Regional en Transformación”. Revista GeoNotas, Vol. 4. Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. INCA Editorial. 2000.
- Union of Concerned Scientists. (UCS): “World Scientists Warning to Humanity”; USA, 1992.
- Weisman, M. “La Estructura Histórica del Entorno”. Ediciones Infinito: Buenos Aires. 1975.

## **MODELLING ENVIRONMENTAL AND ENERGY SUSTAINABILITY ON HIGH-DENSITY URBAN AREAS AS A RESULT OF BUILDING CODES FOR THE CITY OF MENDOZA, ARGENTINA.**

**Abstract.** *The article presents the results of an ongoing study, aimed at comparatively assessing two alternative normative proposals for updating the Urban and Building Code, in high density urban zones in the city of Mendoza, in central-western Argentina. The proposed reforms were mainly aimed at densifying and upgrading decayed urban tissues, providing room to revert the city's ongoing peripheral sprawl on productive lands and the surrounding desert ecosystem.*

*The new Municipal Project (MP) was mainly focused on morphological variables, again disregarding any significant attempt to approach sustainability on environmental and energy aspects. An Alternative Project (AP), was developed by the R+D unit, in coincidence with the densification targets of the MP but, trying to rid its proposal of the various foreseeable negative environmental impacts of the former.*

*The study was mainly focused on one key issue: solar access to potential collecting surfaces of the built environment assessed using a quantitative method. Three temporal scenarios of the city's future evolution process, are being considered, starting from the reference situation of existing preservable high density built-up areas and simulating their possible outcomes on mid (25 years) and long (50 years) terms, as results of the massive implementation of either normative on the longer term.*

*The results obtained so far, indicate that the AP presents higher mean values of predicted solar potential, expressed by the chosen indicator, the Volumetric Insolation Factor (VIF) for both time terms: MP30: 106, MP60: 73 and AP30: 141, AP60: 112 Mj/m<sup>3</sup>, respectively.*

**Keywords:** *urban sustainability, solar access, energy, environmental quality, urban landscape.*