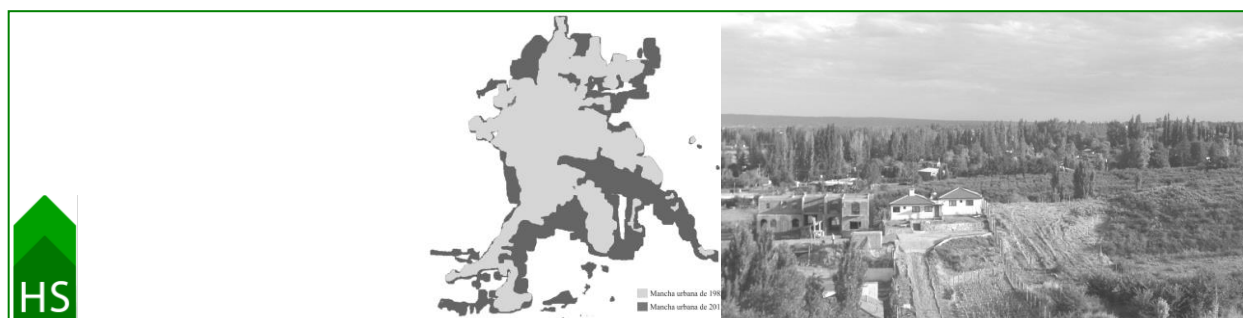


## Metodología para la Estimación de Consumo Energético Implícito en el Crecimiento Urbano de Ciudades Difusas

Methodology for Estimating Implied Energy Consumption in the Urban Growth of Diffuse Cities



Jimena Gómez Piovano [jpiovano@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jpiovano@mendoza-conicet.gob.ar)  
INCIHUSA-CONICET – CCT Mendoza – Mendoza, Argentina

Alejandro Mesa [amesa@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:amesa@mendoza-conicet.gob.ar)  
INCIHUSA-CONICET – CCT Mendoza – Mendoza, Argentina



*Palabras Clave*  
Crecimiento urbano  
Instrumentos de simulación  
Impacto  
Consumo de energía

## RESUMEN

La tendencia de urbanización que presentan las ciudades latinoamericanas es en la actualidad una de las más altas del planeta. La misma determina que el incremento de superficie urbanizada es mayor a la tasa de crecimiento poblacional. A su vez, las ciudades emplean el 75% de la energía que se consume en el planeta, por lo que son responsables en igual proporción de la emanación de los gases que producen el efecto invernadero. Ante esto, el planeamiento urbano debe incorporar estrategias de diseño que reduzcan dichos consumos. Tratando de aportar una alternativa a esa tendencia, este trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto de los distintos modelos de crecimiento urbano para una misma ciudad. Para ello, se cuantifican las variables referidas al uso del suelo y a los consumos energéticos asociados a los requerimientos de las construcciones e infraestructuras necesarias para albergar dicho crecimiento de la ciudad por año, comparando los resultados obtenidos con los valores de referencia de indicadores de sustentabilidad desarrollados en Europa para verificar su potencial implementación en ciudades latinoamericanas. Como ejercicio de validación, se evalúan distintos modelos de crecimiento urbano para el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina.

## ABSTRACT

*Key Words*  
Urban growth  
Simulation tools  
Impact  
Energy consumption

The urbanization trend in Latin American cities is currently one of the highest in the world. It determines that the increase in urban area is greater than the rate of population growth. In turn, cities use 75% of the energy consumed on the planet. For this reason, they are responsible in equal proportion for the production of greenhouse gases. In response, urban planning should incorporate design strategies to reduce said consumption. As an alternative to this trend, the objective of this investigation is to assess the impact of the different models of urban growth for the same city. To this end, variables related to land use and energy consumption associated with the building and infrastructure requirements necessary to accommodate the growth of the city per year were quantified. The results obtained were compared with the reference values of sustainability indicators developed in Europe to verify their potential implementation in Latin American cities. As a validation exercise, different urban growth models were evaluated in the Mendoza Metropolitan Area, Argentina.

## 1. Introducción

América Latina es una de las regiones donde actualmente el fenómeno de urbanización se da en mayor proporción: 80%, superando con ello a Europa y a Estados Unidos. Dicho valor se incrementa aún más para Argentina (ONU Hábitat, 2012). A su vez, el ritmo de crecimiento de la expansión urbana es superior al del crecimiento poblacional, generando una reducción de la densidad demográfica (ONU Hábitat, 2012): “La pérdida de densidad significa el aumento de los costos de todas las infraestructuras y su mantenimiento. Las ciudades más extensas requieren más carreteras, más tuberías, cables y más sistemas de transporte, y hacen que disminuyan las economías de escala y las ventajas de aglomeración” (ONU Hábitat, 2012, p. XIII). La mayor parte de las urbanizaciones están insertas en las zonas fértiles y productivas, constituyendo su crecimiento, importantes pérdidas de producción agrícola. La necesidad de reservar suelo no urbanizable es ardua en todos los ambientes, y se complejiza todavía más en los ecosistemas áridos donde la expansión agraria se ve limitada a una determinada superficie.

Salvador Rueda (1998) sostiene que existen actualmente dos modelos antagónicos de urbanismo, la ciudad compacta y la ciudad difusa. La ciudad difusa es aquella que se disipa en grandes superficies, que tiene de todo y mucho, pero con baja densidad poblacional, y se halla separada funcionalmente en áreas: la universidad, la industria, la residencia, las áreas comerciales, las oficinas (Moliní, 2012). Tales núcleos funcionales se unen a través de una densa red de carreteras y vías de transporte. Por consiguiente, el sistema urbano de ciudad difusa, se caracteriza por el aumento de la superficie urbanizada y el consumo desmedido de recursos naturales como el suelo.

La combinación entre la dispersión de actividades, que impone la ciudad difusa, y la necesidad propia del hombre de contactarse personalmente da como resultado un uso masivo de los medios de locomoción motorizado, en su mayoría vehículos privados, ya que la baja densidad habitacional hace al servicio de transporte público poco eficiente (Mesa, 2005; Papparelli, 2009). De este modo, el modelo de ciudad difusa se considera insostenible ya que la huella creciente de ocupación por el suelo urbano y la red de movilidad horizontal, invaden tierras de alto valor tanto ecológico como agrícola (Papparelli, 2009) y generan mayores consumos

energéticos, tanto en los procesos constructivos como en el funcionamiento (Moliní, 2012).

En cambio, en las ciudades compactas, la mayor densidad poblacional posibilita la coincidencia en un mismo sector de la residencia, los servicios, las actividades económicas y los equipamientos. De esta manera, proporciona el contexto adecuado para el aumento de intercambios sociales (Rueda, 1998). Asimismo, la mayor densidad poblacional hace más eficiente al transporte público, lo que produce la disminución del número de automóviles que circulan, liberando así parte de las vías de movilidad saturadas hoy en día por el tránsito privado. La densificación, en relación a la infraestructura, conlleva menores consumos energéticos, así como también la mayor factibilidad de implementación de los mismos (Burgess, 2000; Rueda, 1998; de Schiller, 2000).

En relación a ello, un grupo de investigadores canadienses encabezados por Jonathan Norman (2006) cuantificó las diferencias de consumo energético de 2 modelos urbanos, uno difuso de baja densidad (57hab/ha) y el otro compacto de mayor densidad (270hab/ha). En base al análisis realizado se pudo determinar que el sector más denso consume 37% menos de energía en construcción y 45% menos en relación a la operatividad edilicia. Como consecuencia de la de menor distancia y la disminución de viajes de la alta densidad, se reduce el consumo energético del transporte privado en un 73% y un 70% menos en los recorridos de transporte público en relación con el sector de baja densidad.

Hoy en día, las ciudades de baja densidad deben revertir su patrón de crecimiento expansivo, planificando la densificación de las zonas urbanizadas, para disminuir así el uso de suelo y su consumo energético.

Este trabajo desarrolla una herramienta simple que permite de forma rápida evaluar el impacto del crecimiento urbano mediante la comparación de los consumos de recursos naturales (suelo) y los energéticos relacionados, en distintas alternativas de crecimiento para una misma ciudad. A modo de ejemplo, se toma como ciudad de análisis al Área Metropolitana de Mendoza, Argentina.

## 2. Metodología

El presente trabajo se estructura en 2 etapas, la primera consiste en la descripción de la

metodología desarrollada para evaluar el impacto producido por el crecimiento urbano de ciudades de baja densidad (<60hab/ha). La segunda etapa, tiene como fin aplicar la herramienta creada para el estudio de distintas variables de crecimiento urbano para el Área Metropolitana de Mendoza.

La herramienta de simulación diseñada elaborará un sistema de proyección numérica que permite correlacionar de forma rápida las implicancias a nivel de consumo de recursos que conllevan distintos modelos de crecimiento urbano para una ciudad. Primero, se estima el crecimiento poblacional del sector de forma lineal y se deduce los requerimientos edilicios-urbanos necesarios para mantener el equilibrio de  $m^2/hab$ . Posteriormente, sobre los valores necesarios, se calcula el impacto de estos requerimientos, para lo cual se toma como referencia valoraciones realizadas por diversos estudios. Se realiza, además, una valoración de los indicadores de sustentabilidad de los usos del suelo y se toma como marco de referencia el estudio realizado por Salvador Rueda (2012). Para la evaluación de los consumos energéticos a nivel de operatividad de la ciudad, se toma como marco de referencia el estudio realizado por Norman (2006). Los requerimientos energéticos asociados a la construcción de viviendas y la urbanización de nuevos territorios son calculados mediante los valores estipulados por Cepeda Gutiérrez (2012).

En uno de los casos, el crecimiento poblacional se da en forma expansiva, requiriendo mayor superficie urbanizada y en el otro, el crecimiento densifica la ciudad, manteniendo constante la superficie urbanizada.

El proceso metodológico empleado se estructura en las siguientes cuatro etapas: conocer, estimar, evaluar, comparar.

## 2.1 Conocer

Esta primera etapa tiene como objetivo comprender las características del área de estudio: aspectos históricos, geográficos, morfológicos y sociales del lugar. Con este análisis se obtienen los datos indispensables para realizar la estimación numérica, de los siguientes indicadores/parámetros/variables:

### *Datos poblacionales*

- Cantidad de población según los dos últimos censos.
- Cantidad de años entre los dos censos poblacionales.

### *Datos urbanos*

- Superficie del área urbana ( $m^2$ )
- Superficie de espacios públicos de recreación ( $m^2$ )
- Superficie edificada total ( $m^2$ )
- Superficie de parcelas urbanas ( $m^2$ )
- Superficie de parcelas urbanas sin edificar ( $m^2$ )
- Superficie de circulación ( $m^2$ )

## 2.2 Estimar

En esta segunda etapa se estima de crecimiento para los distintos modelos. Para ello, es necesario, primeramente, fijar el periodo de tiempo que se desea estudiar y, luego, proyectar el crecimiento poblacional del área de estudio, tomando como base de partida los comportamientos poblacionales registrados en el punto anterior. En base al crecimiento poblacional se estima los requerimientos edilicios-urbanos necesarios para mantener el equilibrio de  $m^2/hab$ . Con ese fin, se calcula que la ciudad necesitará construir cierta cantidad de superficies en: superficie parcelaria, superficie de los canales viales, espacios públicos de recreación y edificios públicos y privados.

Cálculo de población total<sup>1</sup> para el año de estudio (PET):

$$PET = \left\{ \left[ \left( \frac{PB}{PA} - 1 \right) * \Delta C \right] + 1 \right\} * PA \quad (1)$$

*Donde:*

PA: La cantidad de población del primer censo a considerar.

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta B$ : La diferencia de años entre el primer censo y el segundo.

$\Delta C$ : La diferencia de años entre el segundo censo y el periodo año a estudiar.

Cálculo de la superficie destinada a nuevos espacios públicos de recreación (EPE):

$$EPE = \Delta P * \left( \frac{EPR}{PB} \right) \quad (2)$$

*Donde:*

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta P$ : La diferencia poblacional entre los dos censos.

<sup>1</sup> La estimación del crecimiento poblacional es geométrica.

EPR: La superficie destinada a espacio público de recreación en la mancha urbana actual expresada en metros.

Cálculo la cantidad de superficie de nuevas edificaciones construidas (SNC):

$$SNC = \Delta PF * \left(\frac{SC}{PB}\right) \quad (3)$$

Donde:

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta PF$ : La diferencia poblacional entre el año actual y el valor hallado en la ecuación 1 correspondiente a la estimación de población total para el año en estudio.

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies de parcelas con construcciones (SNP):

$$SNP = \frac{SNC}{\frac{SC}{SPC}} \quad (4)$$

Donde:

SNC: Valor hallado en la ecuación 3 correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio.

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros cuadrados.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies de parcelas edificación (NPS):

$$NPS = SNP * \left(1 + \left(\frac{SPS}{SPC}\right)\right) \quad (5)$$

Donde:

SNP: Valor hallado en la ecuación 4 correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

SPS: Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies destinadas a circulaciones (SNV):

$$SNV = \frac{SV * (EPE + SNP + NPS)}{EPR + SPC} \quad (6)$$

Donde:

SV: Superficie de los cañones viales de la mancha urbana actual expresadas en metros.

EPE: Valor hallado en la ecuación 2, correspondiente a la estimación de superficie de nuevos espacios verdes para el año en estudio, en metros.

SNP: Valor hallado en la ecuación 4, correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

NPS: Valor hallado en la ecuación 5, correspondiente a la superficie de las nuevas parcelas urbanas sin edificación.

EPR: La superficie destinada a espacio público de recreación en la mancha urbana actual expresada en metros.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de la superficie de crecimiento de la mancha urbana (CSU):

$$CSU = EPE + SNP + NPS + SNV \quad (7)$$

Donde:

EPE: Valor hallado en la ecuación 2, correspondiente a la estimación de superficie de nuevos espacios verdes para el año en estudio, en metros.

SNP: Valor hallado en la ecuación 4, correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

NPS: Valor hallado en la ecuación 5, correspondiente a la superficie de las nuevas parcelas urbanas sin edificación,

SNV: Valor hallado en la ecuación 6, correspondiente a la superficie de los nuevos canales viales.

Cálculo de la superficie de total de la mancha urbana (MUE):

$$MUE = SMU + CSU \quad (8)$$

Donde:

SMU: Superficie de la mancha urbana actual expresada en metros.

CSU: Valor hallado en la ecuación 7, correspondiente a nueva superficie de la mancha urbana.

### 2.3 Evaluar

En esta instancia, se evalúan los niveles de sustentabilidad, en relación a los usos del suelo (densidad habitacional, compacidad absoluta y compacidad corregida), según los valores óptimos estipulados por Salvador Rueda (2012).

Densidad habitacional (Dh):

Valor deseable 220 a 350 habitantes/ha.

$$Dh = \frac{PET}{MUE} \quad (9)$$

Donde,

PET: Población estimada total para el año de análisis.

Dh: Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros

SP: Superficie de urbanizada estimada para el año en estudio.

Compacidad absoluta (Ca): Valor deseable 5m.

$$Ca = \frac{(SC+SNC)*3}{MUE} \quad (10)$$

Donde:

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros.

SNC: Valor hallado en la ecuación 3, correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio. Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

MUE: Superficie de urbanizada estimada para el año en estudio.

Compacidad corregida (Cc): Valor deseable 10 a 50 m.

$$Cc = \frac{(SC+SNC)*3}{SV+EPE} \quad (11)$$

Donde:

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros.

SNC: Valor hallado en la ecuación 3, correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio. Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

MUE: Superficie urbanizada estimada para el año en estudio.

Para los casos estudiados, se infieren las diferencias entre los consumos energéticos implícitos en cada modelo. Con tal fin, se lleva a cabo un cálculo de los mismos para cada modelo, los que corresponden a un año de requerimientos en relación a la operación del edificio, al transporte privado y al transporte público. Con el objetivo de realizar esta valuación, se utilizan los valores obtenidos por Jonathan Norman (2006) para distintas densidades urbanas de poblaciones de Canadá y se extrapolan de forma lineal para los valores de densidad arrojados por los dos modelos en estudio. Los valores de consumo arrojados presentan un panorama estimativo de

las diferencia de niveles, ya que no son calculados mediante valores obtenidos en distintos contextos geográficos y sociales.

Consumo energético operativo (Ce):

$$Ce = [\sum \left( \frac{\Delta CE}{\Delta Dh} \right) * (\Delta Dh1)] * PET \quad (12)$$

Donde:

$\Delta CE$ : La diferencia de consumo entre modelos de alta densidad y el de baja densidad. En nuestro caso, se toman los establecidos por Norman (2006) para:

- Operatividad del edificio: 22.300 Mg/año/persona
- Transporte privado: 20.010 Mg/año/persona
- Transporte público: 910 Mg/año/persona

$\Delta Dh$ : Diferencia de densidad poblacional de los 2 modelos. Para nuestro caso, se considera 213 hab/ha (Norman, 2006).

$\Delta Dh1$ : Diferencia de densidad entre la alta densidad del modelo de referencia (270 hab/ha) (Norman, 2006) y la densidad poblacional estipulada para el caso de estudio.

PET: Población estimada total para el año de análisis.

A su vez, se cuantificará el consumo energético asociado a la construcción de viviendas y la urbanización de nuevos territorios. Para ello, se toma como base de cálculo los valores estipulados por Cepeda Gutiérrez (2012) para las distintas obras.

Consumo energético incorporado en la urbanización y construcción edilicia (Cec):

$$Cec = \sum Cec n \quad (13)$$

Viviendas aisladas: 0.14 tep/m<sup>2</sup>.

Viviendas adosadas: 0.12 tep/m<sup>2</sup>.

Viviendas en bloque: 0.07 tep/m<sup>2</sup>.

Urbanización: 0.02 tep/m<sup>2</sup>.

Espacios públicos atenuantes: 30,27 MJ/m<sup>2</sup>.

## 2.4 Comparar

Esta etapa, tiene como objetivo comparar los resultados de los distintos escenarios de crecimiento.

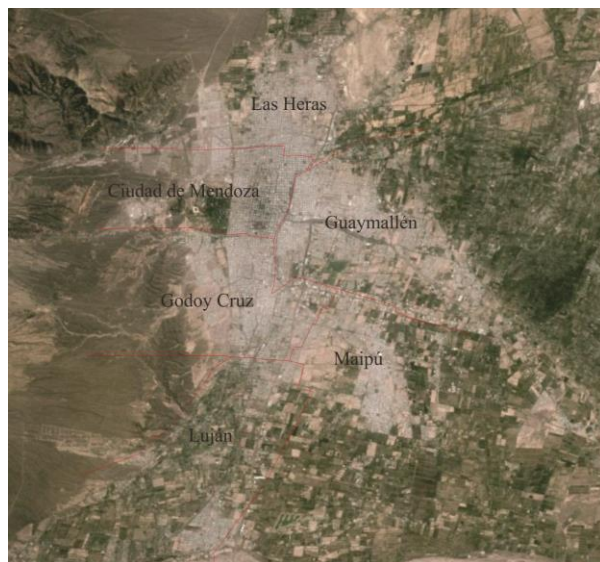
## 3. Desarrollo

### 3.1 Situación de referencia

El presente trabajo toma como lugar de aplicación el Área Metropolitana de Mendoza

(AMM), capital de la Provincia de Mendoza, Argentina. Ésta, se encuentra situada al centro oeste de Argentina, emplazada sobre el piedemonte de la Cordillera de los Andes, en una zona árida y sísmica. Mendoza presenta ecosistemas de montaña, piedemonte y llanura de alta fragilidad con una tendencia creciente a la presión antrópica. Gran parte de la superficie provincial está afectada por procesos de desertificación, destacándose la deforestación y el desmonte, la falta de manejo ganadero, incendios y el crecimiento urbano sobre áreas frágiles, como sus causas más importantes (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). Los oasis de cultivo representan solamente el 3% de la superficie provincial (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). El sector de estudio se desarrolla inserto en el oasis regado por el Río Mendoza, situado en el extremo noroeste de la provincia argentina, conformando una "isla verde" en el gran espacio semidesértico.

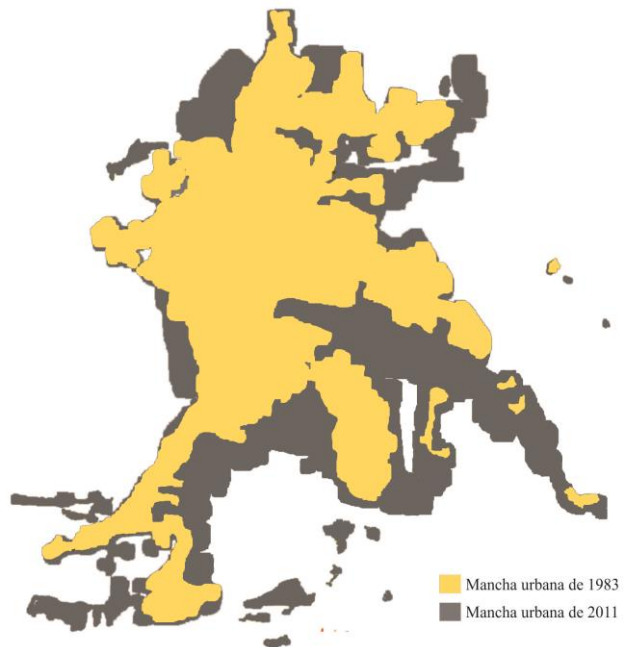
El AMM está constituido por 6 regiones político-administrativas: Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján y Maipú. La mancha urbana que conforman tiene una superficie de aproximadamente 20.600 ha, inserta en el oasis regado por el Río Mendoza de 158.000 ha (Figura 1).



**Figura 1:** AMM con división por departamentos.  
**Figure 1:** MMA with department divisions.

En los últimos años, el AMM ha incrementado su superficie con un ritmo anual del 4,5%. Entre 1983 y 2010 la trama urbana pasó de tener una superficie de 7.753 ha a 20.624 ha, lo que representa un 135% de aumento (Figura 2).

Dicho crecimiento se da fundamentalmente en dos direcciones: hacia el piedemonte, donde se pueden generar problemas muy importantes por la impermeabilización de gran parte del suelo y la deforestación, lo que provocaría una disminución de la infiltración y un aumento de los aportes aluvionales en volumen y velocidad, que, a su vez, afectaría a Capital, Las Heras y Luján (Figura 3); y también hacia al este y sureste, invadiendo y disminuyendo la superficie del oasis de riego, suelos de potencial agrícola tan escasos en la zona (Figura 4) (Universidad Nacional de Cuyo, 2004).



**Figura 2:** Crecimiento del AMM. Evolución de la mancha urbana.  
**Figure 2:** Growth of the MMA. Evolution of the urban sprawl.

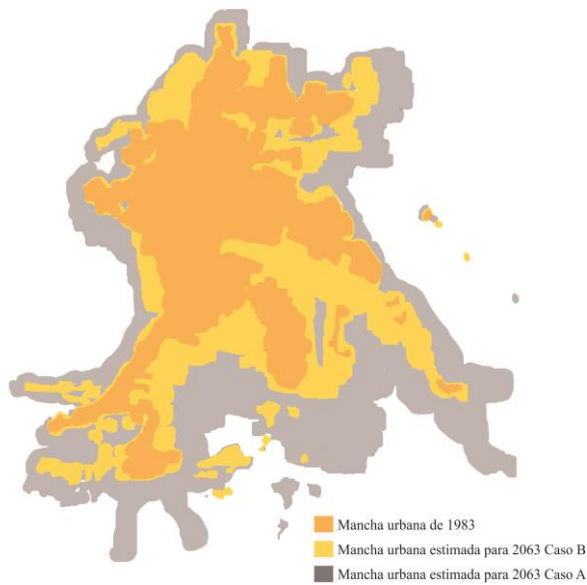


**Figura 3:** Transformación de tierras del oasis productivo en zonas urbanas.  
**Figure 3:** Transformation of productive lands into urban areas.

Además, el incremento de la superficie urbanizada va acompañado de un abandono de



las áreas centrales. Así pues, si se compara los datos de los censos 1991 y 2001, se advierte que en el 46% de los radios censales de la trama urbana consolidada se registró disminuciones en la cantidad de habitantes, mientras que en la periferia, se manifiesta un aumento de población, resultado de migraciones internas, asociadas a que los habitantes de los barrios centrales trasladan su lugar de residencia hacia la periferia buscando seguridad y aire puro. A pesar de eso, las zonas centrales son las que concentran mayores servicios, equipamientos y superficie construida subutilizada.



**Figura 4:** Avance de las mancha urbana sobre el piedemonte.  
**Figure 4:** Advance of urban sprawl over the foothills.

En el sector, uno de los problemas ambientales más graves es la contaminación atmosférica. La fuente más importante de contaminación la constituyen los vehículos (fuentes móviles), ya que son responsables del 70% de las emisiones de los contaminantes principales, provocan también contaminación sonora y congestión de tránsito (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). Los niveles de polución por habitante del sector son mayores que los alcanzados en ciudades como Buenos Aires o Santiago de Chile (Universidad Nacional de Cuyo, 2004).

El AMM está conformada por un 33% de circulaciones, 4% de espacios públicos de recreación (plazas, parques y peatonales) y un 63% de parcelas urbanas. Por otro lado, dentro de la trama urbana consolidada existen 301.677 lotes sin edificaciones, con una superficie de

37.105 m<sup>2</sup>, lo que representa un 29% de la superficie parcelada total. A su vez, la relación entre superficie edificada y cantidad de habitantes es de 39.62 m<sup>2</sup>/hab. Posee 8.023.945 m<sup>2</sup> de espacios públicos atenuantes, lo que corresponden a 7.38 m<sup>2</sup>/hab. La distribución de los mismos en el territorio es despereja: en el distrito de Ciudad se sitúa la mayor cantidad (50.15 m<sup>2</sup>/hab), mientras que el departamento de Las Heras es el que menor número posee (0.62 m<sup>2</sup>/hab).

### 3.2 Conocer

- Datos Poblacionales:

Cantidad de población del censo de 2001: 986.341 habitantes  
 Cantidad de población del censo 2010: 1.086.633 habitantes  
 Cantidad de años intercensal: 9

- Datos Urbanos:

Superficie del área urbana: 206.245.066m<sup>2</sup>  
 Superficie espacios públicos atenuantes: 8.023.945m<sup>2</sup>  
 Superficie edificada total: 43.052.585m<sup>2</sup>  
 Superficie de parcelas edificadas: 92.679.590m<sup>2</sup>  
 Superficie de parcelas sin edificar: 37.105.568m<sup>2</sup>  
 Superficie de circulación: 68.435.963m<sup>2</sup>

### 3.3 Caso A: Estimación del crecimiento del Área Metropolitana de Mendoza en un periodo de 50 años, según los parámetros de crecimiento actuales.

#### 3.3.1 Estimar

La simulación de crecimiento que aquí se plantea comprende el periodo entre los años 2013 y 2063. Con respecto al crecimiento poblacional, encontramos que para el año 2063 la cantidad de habitantes del AMM ascendería a 1.588.093, lo que significaría un aumento de 501.460 personas. Siguiendo los parámetros de crecimiento actuales, este incremento poblacional se vería acompañado por una expansión de la mancha urbana de 10.681 ha. La misma estaría compuesta de la siguiente manera:

- Superficie destinada a nuevos espacios públicos de recreación (EPE): 3.702.894m<sup>2</sup>
- Cantidad de superficie de nuevas edificaciones construidas (SNC): 19.867.931m<sup>2</sup>
- Nuevas superficie de parcelas con construcciones (SNP): 42.769.828m<sup>2</sup>



- Nuevas superficies de parcelas sin edificaciones (NPS): 17.123.498 m<sup>2</sup>
- Nuevas superficies destinadas a circulaciones (SNV): 43.218.628 m<sup>2</sup>
- Superficie de crecimiento de la mancha urbana (CSU): 106.814.849 m<sup>2</sup>
- Superficie de total de la mancha urbana (MUE): 313.059.915 m<sup>2</sup>

### 3.3.2 Evaluar

En esta tercera etapa, se evaluarán los niveles de sustentabilidad de la mancha urbana y los correspondientes consumos energéticos.

- Densidad Habitacional : 50 hab./ha → Valor deseable 220 a 350 habitante/ha
- Compacidad Absoluta (Ca): 0.60 → Valor deseable 5 m
- Compacidad Corregida (Cc): 16,10 → Valor deseable 10 a 50 m

Se puede estipular que la energía operativa consumida sólo para el año 2063 por el Área Metropolitana de Mendoza, alcanzaría los 1.687.647 tep, los cuales se pueden desglosar de la siguiente forma:

- Operación de edificios: 870.767 tep
- Transporte privado: 781.374 tep
- Transporte público: 35.533 tep

A su vez, la energía incorporada en el crecimiento urbano proyectado alcanza los 3.648.560 tep:

- Espacios públicos de recreación: 2.677 tep
- Construcción de viviendas: 2.781.510 tep
- Construcción de vías de circulación: 864.372 tep

### 3.4 CASO B: Estimación del crecimiento del Área Metropolitana de Mendoza en un periodo de 50 años, sin incrementar la superficie urbanizada.

Tal como en la simulación anterior, en esta etapa se realiza una proyección de crecimiento para un periodo de tiempo de 50 años, lo cual permitirá comparar los resultados de las 2 propuestas. De esta forma, el crecimiento poblacional sería idéntico al anterior, 320.934,40 habitantes, pero, a diferencia de él, éste no aumentará la superficie urbanizada, sino que densificará las zonas ya urbanizadas.

Cabe destacar que la construcción en terrenos sin edificar considera que un 50% de las

viviendas corresponderá a viviendas apareadas y la otra mitad, a viviendas aisladas.

#### 3.4.1 Estimar

La simulación planteada comprende el periodo entre los años 2013 y 2063. Según la estimación estadística, la población urbana sería de 1.588.093 habitantes. Este incremento poblacional no se vería acompañado por la expansión de la mancha urbana, sino por la sola construcción en parcelas sin edificación, superficie que asciende a 7.318 ha. Esto implica la construcción de:

- Nuevos espacios públicos de recreación (EPE), con una superficie de 3.702.894 m<sup>2</sup>
- Nuevas edificaciones (SNC) con una superficie de 19.867.930.96 m<sup>2</sup>

Aquí observamos que la trama urbana actual puede albergar el crecimiento poblacional de aquí a 50 años, respetando los índices de construcción urbanos actuales e incluyendo espacios públicos atenuantes, sin agotar la disponibilidad de terrenos libres. Por esta razón, podemos concluir que la zona urbanizada del AMM puede mantenerse sin incrementos por más de 50 años.

#### 3.4.2 Evaluar

Como en el caso anterior, en esta etapa se evalúan los niveles de sustentabilidad de la mancha urbana y los consumos energéticos que genera el crecimiento poblacional en el periodo comprendido entre 2013 y 2063.

- Densidad habitacional: 77 hab/ha → Valor deseable 220 a 350 hab/ha
- Compacidad absoluta (Ca): 0.92 → Valor deseable 5 m
- Compacidad corregida (Cc): 16.10 = → Valor deseable 10 a 50 m
- Espacio público atenuante (EPA) = 7.37 → Valor deseable 10 m<sup>2</sup>/hab.

Por otro lado, la energía incorporada para la construcción de las nuevas edificaciones, que albergarían el crecimiento poblacional, ascendería a 3.389.628 tep; distribuida de la siguiente manera:

- Espacios públicos de recreación: 2.677 tep
- Construcción de viviendas aisladas: 1.390.755 tep
- Construcción de viviendas apareadas: 1.192.075 tep

A su vez, la energía operativa consumida sólo hasta el año 2063 por el Área Metropolitana de Mendoza, alcanzaría los 1.485.440 tep, que se pueden desglosar de la siguiente forma:

- Operación de edificios: 766.435 tep
- Transporte privado: 687.729 tep
- Transporte público: 31.276 tep

### 3.4.3 Comparar

Al comparar los 2 modelos de crecimiento urbano planteados en este estudio para el Área Metropolitana de Mendoza, se destaca que a nivel de preservación del suelo, el caso B no afecta nuevas tierras, mientras que el caso A conlleva un aumento del suelo urbano del 34% (Figura 5).

En relación a la energía incorporada en el crecimiento urbano a 50 años, ésta es un 29% mayor en el primer modelo que en el segundo (Tabla 1).

**Tabla 1:** Comparación de la energía incorporada para los 2 casos de análisis.

**Table 1:** Comparison of embodied energy for the 2 cases of analysis.

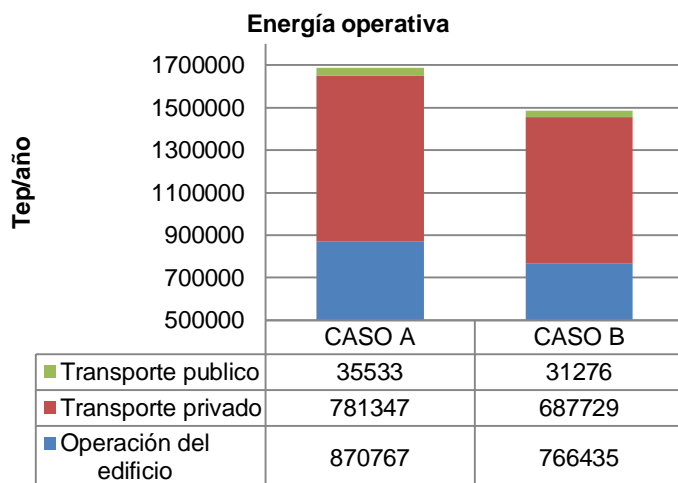
	CASO A	CASO B	DIFERENCIA
Energía incorporada			
Espacios públicos	2.677 tep	2.677 tep	0%
Construcciones	2.781.510 tep	2.582.831 tep	7%
Circulaciones	864.373 tep	0 tep	100%
Total	3.648.560 tep	2.585.508 tep	29%

A su vez, el consumo energético a nivel operativo estipulado para el año 2063 en estas 2 simulaciones, refleja que el Caso B consume un 12% menos que el A (Figura 5).

## 4. Conclusiones

El análisis de las características actuales del AMM y su proyección a futuro, denotan que el modelo urbano actual de baja densidad dista de los estándares de ciudad compacta. Los valores de los indicadores urbanos de compacidad absoluta y de densidad poblacional planteados por Salvador Rueda no son factibles de alcanzar en ciudades como el Área Metropolitana de Mendoza. Esto se debe a que los porcentajes de incremento poblacional requeridos para obtener dichos estándares superan a los posibles de alcanzar en 200 años. No obstante, la planificación urbana debe establecer estrategias que reviertan la expansión desmedida actual. Debiendo focalizar los esfuerzos en la protección de las áreas de cultivo, en el incentivo del uso del transporte público y en la desconcentración de actividades en el centro de la ciudad. Por ello, la acción de densificación debe realizarse en áreas estratégicamente ubicadas que funcionen como múltiples nodos de actividades. La correcta distribución de núcleos más densamente poblados disminuirá el transporte de los sectores de baja densidad, que encontrarán la posibilidad de satisfacer sus necesidades en distancias menores a las actuales. Por otro lado, debe incluirse mayor cantidad de espacios verdes de recreación a la trama actual. Con ese fin, se recomienda la transformación de parcelas de suelo vacante.

La evaluación de las dos estrategias de crecimiento urbano del AMM pone de manifiesto que, a nivel de los consumos energéticos, el modelo que detiene la expansión urbana y densifica el área reduce los requerimientos, tanto a nivel de energía incorporada como de energía operativa. Dicho modelo consume un 34% menos de suelo urbano y en él disminuye la energía incorporada en un 29%. A nivel energético, la mayor disminución se explica por el hecho de que no es necesario realizar nuevas carreteras ni obras de infraestructura. Y, a nivel de operatividad del edificio, los consumos se reducen un 12%. En los ítems, tanto de transporte público como privado la disminución también es del 12%.



**Figura 5:** Comparación de la energía operativa estipulada para los 2 casos de estudio.

**Figure 5:** Comparison of stipulated urbanized areas for the 2 case studies.

En pocas palabras, la introducción de herramientas simples en el planeamiento urbano permite evaluar la incidencia de los modelos

actuales y redirigir los procesos de crecimiento no sustentables.

### Agradecimientos

Este artículo es parte del trabajo de investigación que se desarrolla gracias al proyecto de investigación PICT: 2008-0583 "Lineamientos y estrategias para el desarrollo energético-ambiental de ciudades andinas como parte integral de la planificación urbana sostenible. Caso: Área Metropolitana de Mendoza", financiado el FONCyD, en el marco de una Beca doctoral.

### Referencias Bibliográficas

- Burgees, R. (2000). The Compact Cities Debate: A Global perspective. En Jenks, M. & Burgess, R. (ed.) *Compact Cities. Sustainable Urban Forms for Developing Countries*. (1a.ed., pp.9- 24) London: Spon Press.
- Cepeda Gutiérrez, M. y Mardaras Larrañaga I. (2004). Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización. *Con arquitectura*, 12, 65-80.
- De Schiller, S. (2000). Forma edilicia y tejido urbano: análisis de sustentabilidad. *AVERMA*, 4(5), 13.
- Mathey, K. (2000). Urban Agriculture, *Trialog* 65: A Journal for Planning and Building in the Third World. Special Issue, 2, 3-43.
- Mesa, A. y de Rosa, C. (2005). Estudio de los patrones de apropiación del suelo urbano por la expansión de las

áreas residenciales. Análisis del Área Metropolitana de Mendoza. *AVERMA*, 05, 91-95.

Moliní, F. y Salgado, M. (2012). Los impactos ambientales de la ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. *Biblio 3W*, 12(958)

Norman, J., Maclean, H., Asce, M. y Kennedy, C. (2006). Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. *Journal of urban planning and development*. March 2006, 10-21.

ONU Hábitat (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana. Brasil: Programa de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos.

Papparelli A., Kurbán A. y Cúnsulo M. (2009). *Planificación sustentable del espacio urbano*. San Juan: Nobuko.

Ponte, J. (1987). *Mendoza, aquella ciudad de barro. Historia de una ciudad andina, desde el siglo XVI hasta nuestros días*. Mendoza. Mendoza: Imprenta de la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza.

Rueda S. (1998). La ciudad compacta y diversa frente a la conurbación difusa. *Biblioteca ciudades para un futuro más sostenible*. Último acceso: 07/06/09. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es>.

Rueda S. (2012). *El urbanismo ecológico*. Barcelona: Agencia d'Ecologia urbana de Barcelona.

Recibido: 27|12|2013  
Aceptado: 23|05|2014