

AVANCES EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA PARA EVALUAR POLÍTICAS URBANO-AMBIENTALES Y ENERGÉTICAS

Irene Martini¹, Rocio Salas Giorgio², Augusto Avalos³, M. Beatriz Sánchez Arrabal⁴, Laura Aón⁴,
Olga Ravella⁴, Jorge Karol.⁴

IIPAC (Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido), FAU, UNLP
Calle 47 N° 162 (1900), La Plata, Prov. de Buenos Aires.

RESUMEN: Se presentan avances metodológicos en el desarrollo de un modelo de simulación de dinámicas urbanas (NUMEX)⁵ focalizado sobre las interrelaciones entre el consumo de energía, los usos del suelo, los sistemas de movilidad y sus impactos ambientales, con el propósito de ensayar políticas y estrategias alternativas de desarrollo urbano en la Micro Región del Gran La Plata (MRGLP)⁶. Se discuten algunos aspectos conceptuales, metodológicos e instrumentales ligados a la formulación y representación del modelo en un primer prototipo reducido.

Palabras clave: Dinámicas urbanas – Modelo de simulación – Energía, movilidad, uso del suelo

INTRODUCCIÓN

El proyecto NUMEX apunta a modelizar la estructura y la evolución dinámica de un subsistema urbano configurado por la interrelación entre patrones poblacionales y territoriales de consumo energético, de producción y usos de suelo urbano y de movilidad en la MRGLP. El modelo plantea que la evolución de algunas de las variables relacionadas con niveles de sustentabilidad y calidad de vida en localizaciones y momentos dados se vincula con la variación de las variables de este subsistema y éstas, a su vez, con conjuntos significativos de las condiciones de contorno, políticas públicas y decisiones clave que las describen y explican. El propósito del modelo es apoyar el diseño, experimentación y evaluación comparada de diversos instrumentos de política y la toma de decisiones para orientar procesos de transición hacia patrones más sustentables de crecimiento urbano, reduciendo progresivamente sus brechas y asimetrías socio - territoriales.

NUMEX es un modelo multi-agente, dinámico, abierto, escalable y teóricamente “liviano”⁷ (Varsavsky, 1971) que se diseña y opera mediante aproximaciones sucesivas. No es de tipo predictivo, de optimización, de equilibrio, de convergencia ni de síntesis; en cambio, *despliega analíticamente* los comportamientos y la evolución de las variables que componen el sistema y evalúa las condiciones de contexto que los explican⁸ mediante ecuaciones de tipo “contable”⁹ (Holland, 1961; Varsavsky, 1971; Heaps, 2005). Todas sus variables admiten desagregaciones (y reagregaciones) funcionales diversas y progresivas, adecuadas a la naturaleza de los procesos a describir y/o de los experimentos a conducir en una fase dada de su operación. Las hipótesis sobre condiciones de contexto y parámetros y los resultados de los ensayos de políticas se revisan críticamente mediante indicadores numéricos y/o cualitativos de viabilidad técnica, institucional y/o política (Karol et al., 2010). Tales indicadores registran brechas, insuficiencias, asimetrías, inelasticidades, incompatibilidades o insatisfacciones para *procesos* dados (desequilibrios ambientales, insustentabilidad económica, fragmentación territorial) y/o para *actores* sociales determinados (infraconsumos energéticos, déficits de vivienda, inequidades en consumos, ingresos y accesibilidades urbanas)

¹ Investigador CONICET

² Becario CONICET

³ Becario ANPCyT

⁴ Investigador UNLP

⁵ Las primeras definiciones y diseños conceptuales del modelo NUMEX (Proyecto ANPCyT - PICT 06/1993, con sede en el IDEHAB, FAU, UNLP) fueron ya presentadas en ASADES '08 (Karol et al., 2008).

⁶ Esta Micro Región comprende a los partidos de La Plata, Ensenada y Berisso. Está localizada sobre la costa del Río de La Plata a 60 Km al sudeste del Área Metropolitana de Buenos Aires – de la que está separada por el Parque Provincial Pereyra Iraola – y alberga a algo menos de 800.000 habitantes.

⁷ En un modelo ‘liviano’, la mayoría de los parámetros y variables de control del modelo varían exógenamente. En lo posible, se evita introducir explícitamente *hipótesis teóricas* – tales como decisiones ‘racionales’, ecuaciones de comportamiento, correlaciones funcionales o funciones de optimización bajo restricciones predefinidas. Por tanto, NUMEX no opera sólo como un modelo *deductivo* sino – esencialmente – como un modelo abierto de *producción* (diseño) y *construcción* (ensayo y viabilización) de estrategias y políticas públicas.

⁸ En el modelo, se asume que sus variables de estado pueden descomponerse en (a) un componente ‘físico’, ‘real’ o *técnico* y (b) parámetros cuali o cuantitativos de control – siempre exógenos - que representan y expresan las características de contorno –tecnológicas, económicas, sociales, normativas, físicas, territoriales, etc. - que rodean, explican y *viabilizan* las condiciones en que un componente *técnico* dado ocurre y se manifiesta. (componente *político*). En el límite, se asume que *cualquier* variable puede ser representada bajo la forma de una función que relacione a ambos componentes (Karol et al., 2009).

⁹ La principal función de las ecuaciones ‘contables’ del modelo es la de definir el significado exacto de coeficientes y parámetros. Las reglas que definen los estados de las variables están definidas implícitamente en matrices probabilísticas y en relaciones incrementales de tipo Insumo / Producto.

En su versión ‘completa’ (Karol et al., 2009), la ‘arquitectura’ o ‘mapa’ del modelo (que representa las interrelaciones entre los componentes del sistema urbano analizado) considera la interacción entre diversas ‘ofertas’ y ‘demandas’ urbanas que cuatro actores clave de estructuración urbana (Base económica local/regional; Suelo; Movilidad y Energía), según los equilibrios de poder que derivan de sus propias dinámicas e instrumentos de intervención. Las complementariedades, asimetrías y/o conflictos entre esas demandas y ofertas sobre estos vectores se dirimen en diversos ‘ámbitos de transacción’: (i) mercados de suelo para usos residenciales y no residenciales, (ii) mercados y dinámicas de vivienda¹⁰, (iii) dinámicas ocupacionales, mercados de trabajo y generación de ingresos, (iv) sistemas de comunicación y de movilidad local y regional, dinámica de transporte de pasajeros y cargas y (v) otras interfases. Todas las actividades ligadas a la localización territorial de los actores sociales y a las diversas modalidades, tecnologías e instrumentos de gestión de la distancia generan particulares tipos de residuos y están asociadas a consumos energéticos determinados que se originan en fuentes fijas (centralidades, unidades productivas, residencias) y móviles (sistemas y modos de transporte).

Por diversas razones – entre ellas, la escala territorial y el nivel de diversidad funcional mínimo requerido para representar con aproximación adecuada la dinámica de un sistema urbano-regional suficientemente complejo - el modelo ‘completo’ será desarrollado, con las desagregaciones y estratificaciones territoriales, sociales, económicas y ambientales más convenientes, en la escala de la MRGLP. Con el propósito de aproximarse a las relaciones a representar en el sistema de ecuaciones del modelo (actualmente en construcción), actualmente se trabaja sobre una versión reducida del mismo (ver Fig. 1, más adelante) con un doble objetivo: (i) identificar y evaluar las dificultades que derivan de las condiciones de existencia, disponibilidad, accesibilidad, compatibilidad y capacidad de producción de información relevante, significativa y sensible en el nivel de las unidades territoriales consideradas y (ii) relacionar la evolución de las variables ‘físicas’ a comportamientos estructurales y a sus condiciones de contexto, verificando la consistencia de diversas correlaciones múltiples entre las variables estudiadas.

PRIMERAS APROXIMACIONES AL DESARROLLO DEL MODELO: ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTOS ESTRUCTURALES SOBRE EL TERRITORIO.

Con ese propósito, se decidió ensayar la formalización de un primer prototipo reducido del modelo ‘completo’. Esa reducción opera en dos sentidos: (i) los segmentos del sistema ‘completo’ considerados y (ii) las áreas de trabajo seleccionadas.

En cuanto a los segmentos del sistema urbano considerado, el prototipo reducido explora un conjunto acotado de relaciones entre algunos de sus componentes, tal como se muestran en la Figura 1.

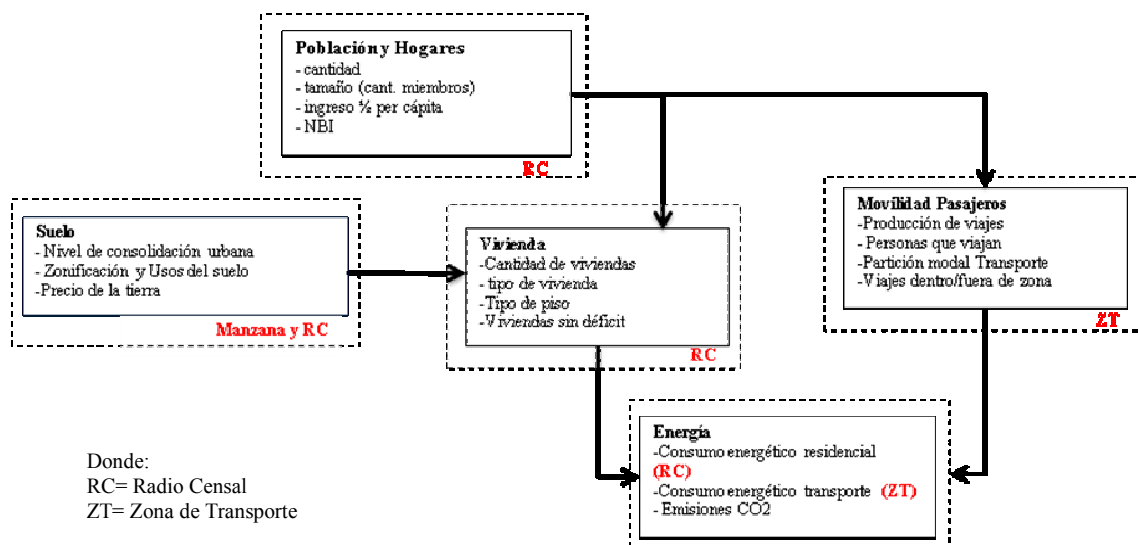


Figura 1. Mapa relacional del modelo reducido en el Prototipo 1.

En cuanto a las áreas de trabajo, se comenzó analizando las posibilidades analíticas – para el modelo – de datos relativos a polígonos urbanos del Partido de La Plata con bordes territoriales definidos, sobre los que en diversas investigaciones previas del equipo sobre la dinámica de transporte (Ravella, 2002 y Ravella, 2004) se habían generado bases de información relevante y consistente. Esas investigaciones (Aón, 2003)¹¹ analizan la distribución territorial de (y la vinculación entre) los nodos de origen (producción, generación o demanda) y de destino (atractores) de los viajes y desplazamientos cotidianos de

¹⁰ Es preciso aclarar que dichos ‘ámbitos’ no siempre asumen la modalidad de ‘mercados’ (en el sentido de espacios de intercambio de bienes mediante transacciones monetarias)

¹¹ Estos estudios se basan en la explotación exhaustiva de los resultados de una encuesta sobre Origen y Destino de viajes de pasajeros conducida en 1993/94. Las variables con las que opera este tipo de estudios de movilidad urbano-regional de pasajeros son: la cantidad de viajes en diferentes modos y modalidades de transporte, la cantidad de Km. recorridos, la cantidad de pasajeros/Km., la cantidad de unidades de transporte (cantidad de vehículos) y la cantidad de viajes por habitante.

la población, según la partición modal del transporte. Las unidades territoriales mínimas específicas de esos estudios son las “Zonas de Transporte” (ZT)¹². Los análisis permitieron asociar la magnitud y la diferenciación de comportamientos de movilidad de la población en y entre distintas ZT con un amplio conjunto de variables discriminantes y/o explicativas, tales como (i) características socio-demográficas: cantidad de población y de hogares residentes en cada ZT, estructura de los hogares (cantidad de hijos), Nivel Socio-Económico (Ingreso medio familiar per cápita), tenencia de medios propios de locomoción (automóviles, motocicletas y/o bicicletas) y perfil de actividades de los miembros del hogar (Trabajo, Estudio); (ii) características territoriales: distancias a la ciudad central y a centralidades urbanas cercanas¹³, dotación local de establecimientos educativos.

Diversos análisis cruzados permitieron establecer asociaciones y correlaciones estructurales de alta sensibilidad y significación. Por ejemplo, el análisis discriminante de la producción de viajes en cada ZT permitió construir dos conjuntos de dos variables explicativas complejas (Aón 2003). El primero está constituido por *patrones de apropiación del suelo* que, para un conjunto de características socio-territoriales, relacionan valores normalizados de (a) Ingreso medio familiar per cápita (\$), (b) número de hijos, (c) factor de ocupación del suelo (%/m²) y (d) precio de la tierra (\$/m²), tales que cada ZT puede ser caracterizada mediante la combinación específica de sus rangos normalizados. El segundo son *patrones de movilidad*, que relacionan los motivos (trabajo, estudio) y los modos (privado, público) de viajes de la población de la ZT. Esos análisis permitieron determinar empíricamente que las diferencias entre los patrones de movilidad en sectores urbanos con similares características *morfológicas* pueden explicarse prioritariamente en función de las pautas específicas (de localización, estratificación, apropiación del suelo y consumos urbanos) propias de los diversos grupos poblacionales involucrados en la dinámica de dichos sectores. En base a la identificación de variables significativas a considerar y de sus desagregaciones más pertinentes, este tipo de hallazgos puede aportar insumos clave para formalizar las ecuaciones del modelo. A la luz de estos análisis, se avanzó en el estudio de las variables que componen el modelo ‘reducido’ para establecer sus incidencias recíprocas y determinar su comportamiento en la relación [Suelo / Vivienda / Movilidad / Energía] en estratos territoriales tan desagregados como fuere posible¹⁴. El campo de aplicación elegido para los ensayos fueron dos ZT de dos periferias de la ciudad de La Plata¹⁵ con diferentes perfiles de población, densidad, nivel socioeconómico, nivel de consolidación, distancias a centralidades, pautas de movilidad y de consumo energético. Una de ellas - Villa Elisa- está ubicada al Nor-Oeste del casco urbano y la otra - Villa Elvira - al Sudeste. Ver Figuras 2 y 3.

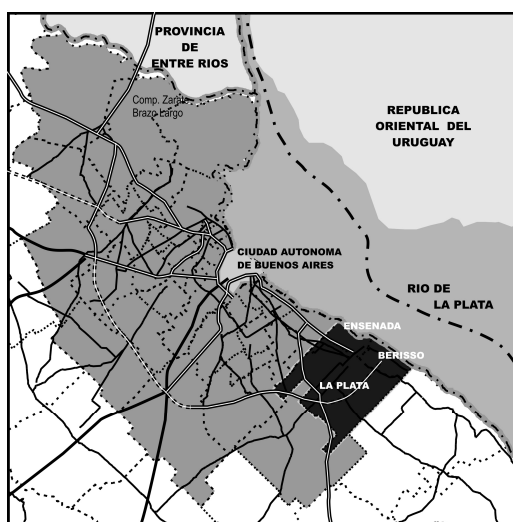


Figura 2 El Partido de La Plata en la Región Metropolitana de Buenos Aires

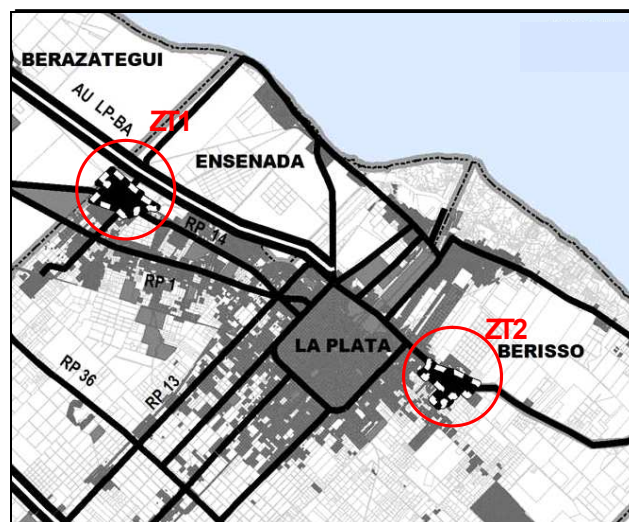


Figura 3 Las Zonas de transporte seleccionadas en el Partido de La Plata

¹² Las ‘zonas de transporte’ (ZT) contienen al menos 1 corredor de transporte dentro de su perímetro y son configuradas arbitrariamente mediante la agregación de radios censales enteros que se disponen en torno de un nodo de atracción. En base a este instrumento, la MRGLP fue oportunamente dividida en 93 “zonas de transporte” y 2 “zonas especiales” en las que se localizan áreas industriales sin población estable. Una vez delimitadas y con el propósito de disminuir los errores estadísticos de la información, esas zonas ZT fueron posteriormente reagrupadas - respetando los límites jurisdiccionales de los tres municipios que componen la micro-región - en 23 “macrozonas”(MZ), que resultan compatibles con las ZT previamente definidas, con sus corredores de transporte, así como en la interrelación con zonas intermedias en lo referente a la cantidad de viajes y con las conformaciones barriales que resultan de sus características físicas y funcionales.

¹³ Las distancias a la ciudad central y a centralidades cercanas o de dependencia de cada una de las áreas en estudio resulta de fundamental interés para la construcción de explicaciones de las relaciones de transporte, usos de suelo y movilidad observados, así como de los consumos energéticos correspondientes.

¹⁴ En los ensayos que se describen a continuación se trabajó – según de qué variables se tratara - con las manzanas y/o radios censales componentes de las zonas de transporte (ZT)

¹⁵ El sector de estudio forma parte del Área Metropolitana de Buenos Aires, que involucra a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a los 40 Partidos que la conforman, cuenta con una superficie de 13.943 km² y con una población de 13.158.226 habitantes. La Micro Región del Gran La Plata se encuentra vinculada mediante la continuidad del frente litoral del Río de la Plata y a partir de la red de vínculos viales correspondientes al corredor sudeste del Área Metropolitana. La MRGLP cuenta con una superficie de 1162 km² y una población de 702.449 habitantes (Censo 2001) y nuestro modelo reducido a 2 zonas de transporte abarcó a 19752 habitantes en 1991 y creció en el 2001 a 23318 habitantes. La ciudad de La Plata cuenta con un casco fundacional consolidado y zonas aledañas de mediana y baja densidad habitacional.

Una vez que los patrones diferenciales de movilidad de la población pudieron ser satisfactoriamente analizados mediante su relación con patrones socio-demográficos y con patrones socio-territoriales de ocupación del suelo a nivel de ZT, se exploraron las condiciones para identificar y construir patrones diferenciales de comportamiento energético residencial en relación con variables socio-territoriales en el nivel de radios censales. (San Juan, 2006, Discoli 2008 y Brea 2008).

A partir de estudios previos y del análisis de las condiciones de acceso y usabilidad de diversas bases de datos provenientes de fuentes externas, se estudiaron las posibilidades y limitaciones para utilizar y/o construir series temporales consistentes y con coberturas territoriales compatibles al más bajo nivel de desagregación posible. Con ese fin se relevaron las principales características formales o información intrínseca de datos relevantes: autor, fuente, cita, periodicidad del dato y período de relevamiento: alcance territorial; unidad de análisis y de medición; disponibilidad, cobertura y sistemas de coordenadas de la información que eventualmente estuviese georreferenciada¹⁶. Esos relevamientos evidenciaron diversos obstáculos en el manejo de la información: (i) los datos que fueron georeferenciados originalmente son muy escasos y no tienen un único sistema de referencia.; (ii) la variación de las unidades territoriales de referencia - tales como los límites de radios censales en los censos de población o la composición según radios censales de las ZT seleccionadas – dificultan su comparabilidad; (iii) la variación en las formulación de preguntas incorporadas en censos también dificulta o impide el análisis comparado de las respuestas; (iv) diversas fuentes y distintos tipos de estudios utilizan diferentes desagregaciones de sus unidades territoriales de análisis: así, se distinguen *parcela* (normativas de uso de suelo), *manzana* (foto lectura de usos del suelo), *radio censal* (censos de población), *delegación municipal* (obras permitadas y superficie construida), *zona de transporte* (encuesta OD), *partido* (Censo Económico), *partido y/o delegación municipal* (Estadística de la provincia de Buenos Aires), y *aglomerado urbano* (EPH) ; (v) finalmente, los cortes temporales responden a los objetivos específicos y a las temporalidades propias de cada proyecto de investigación y/o de las políticas de información de distintas agencias gubernamentales.

Estos obstáculos fueron abordados desde distintas estrategias: (i) la eventual ausencia de datos georeferenciados fue suplida mediante la recuperación de datos originales, su representación cartográfica y mapeo; (ii) sólo se trabajó con aquellas variables cuya definición hubiera sido homogénea y comparable a través de diversas aplicaciones del instrumento de medición a lo largo del tiempo; (iii) los datos disponibles a nivel de manzana (usos del suelo) o radio censal (población, ingreso) fueron originalmente sistematizados y analizados en el nivel original y posteriormente agregados y reconstituidos hacia los niveles o unidades inmediatamente superiores (como, por ejemplo, las Zonas de Transporte para analizar la producción de viajes de pasajeros o los patrones de movilidad) a los fines de su comparabilidad; (iii) en estos primeros análisis se decidió no avanzar en la resolución de la incompatibilidad temporal de los datos y sólo se trabajó con aquellas variables con información comparable para períodos idénticos.

A continuación, en base a las relaciones establecidas en el modelo ‘reducido’ se generó, sistematizó y/o se analizó información referida a las siguientes variables

VARIABLE	INDICADORES
POBLACION	Población, Hogares (miles)
NIVELES DE INGRESO DE LA POBLACIÓN	Ingreso per cápita (\$/cápita)
DISTRIBUCION DE USOS DEL SUELO	Residencial; Agricultura, Ganadería y Galpones; Equipamiento; Asentamiento precario; Tierra vacante (baldío, predios parquizados y ex horticultura (Ha
VALOR DE LA TIERRA	Precio de la tierra (\$) por m ²
DENSIDAD RESIDENCIAL NETA (o índice de compacidad)	Población residente en Has ocupadas con usos residenciales
CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL	Nivel de consolidación urbana; Consumo de EE y GN por hogar; Valor de los consumos energéticos totales anuales; valor de los consumos totales anuales per capita

Tabla 1. Composición de la base de datos

TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES Y SU RELACIÓN CON EL TERRITORIO.

Para identificar regularidades en el consumo energético de la población para ambas ZT, se asoció cada radio censal de cada ZT a un tipo de consolidación urbana (alta, media o baja). A partir de trabajos anteriores (Brea. et al., 2008) se determinó el consumo energético (total y por fuente) de la población asociada al territorio según su tipo de consolidación. Con el objeto de realizar una lectura territorial del comportamiento energético, se incorporaron al análisis variables sociales y territoriales tales como ingreso per cápita¹⁷, costo de la tierra¹⁸ y una densidad residencial, que relaciona la población con la superficie residencial de cada radio censal¹⁹.

¹⁶ Las fuentes consultadas fueron: (1) Nacionales: Censos de Población 1980, 1991, 2001 (Población, Demografía, Hogares, Actividad, Ocupación, Vivienda, Educación, Salud y empleo); Censo Nacional Económico 1994/5; (2) Regionales: Encuesta Permanente de Hogares (Características habitacionales del hogar, características de los miembros, estrategias laborales del hogar, ingresos, etc.); Análisis Ambiental del Partido de La Plata (recursos hídricos, geomorfología, suelos, etc.), CISAUA; Observatorio de calidad de vida, UNLP (Infraestructura y redes de servicios, Valor de la tierra); Normativas de usos del suelo de la Microrregión; Ingreso per cápita por radio censal) y (3) Municipales: foto lectura de Usos del Suelo; Estadísticas de Construcción (permisos, superficies y destinos). Medio político – administrativo.

¹⁷ el ingreso per cápita de la población fuente, Municipalidad de La Plata.

¹⁸ El valor de la tierra se obtuvo del Observatorio de calidad de vida, UNLP – Municipalidad de La Plata.

¹⁹ Para la construcción de la Densidad Residencial, los datos de población se tomaron del Censo Nacional de Población y Vivienda 1991 y la superficie residencial se obtuvo del Observatorio de calidad de vida, UNLP – Municipalidad de La Plata.

Para identificar la capacidad discriminante de las variables seleccionadas en el nivel de los radios censales, se condujeron análisis de correlación múltiple. Las correlaciones fueron representadas mediante instrumentos analíticos (tablas estadísticas), numéricos (normalización de las distribuciones de las variables según diversos métodos de corte o segmentación (terciles, áreas bajo la curva normal) y gráficos tridimensionales.

La distribución de cada variable en el universo de análisis fue normalizada en función de sus cortes por terciles. Así, un RC tiene un valor de sus variables analizadas ALTO, MEDIO o BAJO si,

- Cantidad de Variables · 2 < ALTO = Cantidad de Variables · 3
- Cantidad de Variables · 2 = MEDIO > Cantidad de Variables · 1,5
- Cantidad de Variables · 1,5 = BAJO

En las figuras 4, 5, 6 y 7 se muestran y comparan – para ambas zonas de transporte – las distribuciones territoriales de cada variable analizada según radio censal y rango (tercil) al que pertenecen.

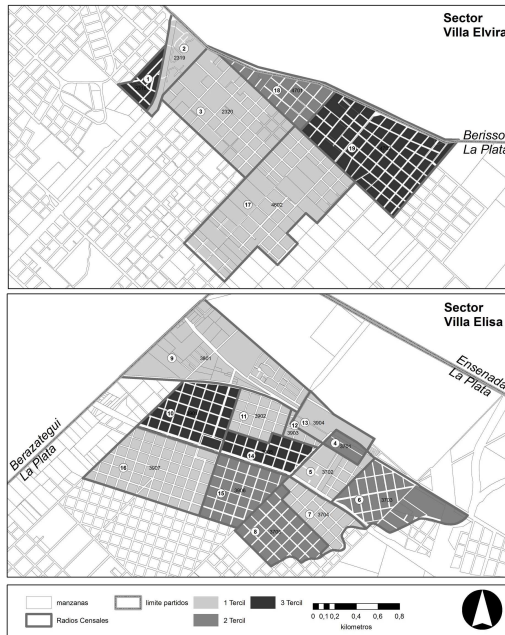


Figura 4. Densidad Residencial

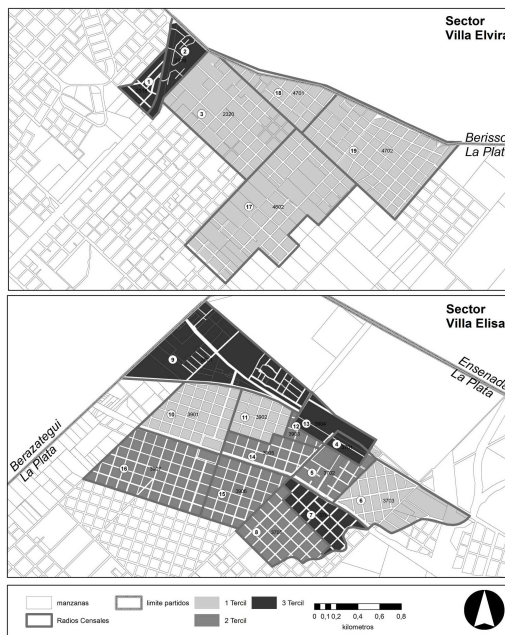


Figura 5. Ingreso/Cápita

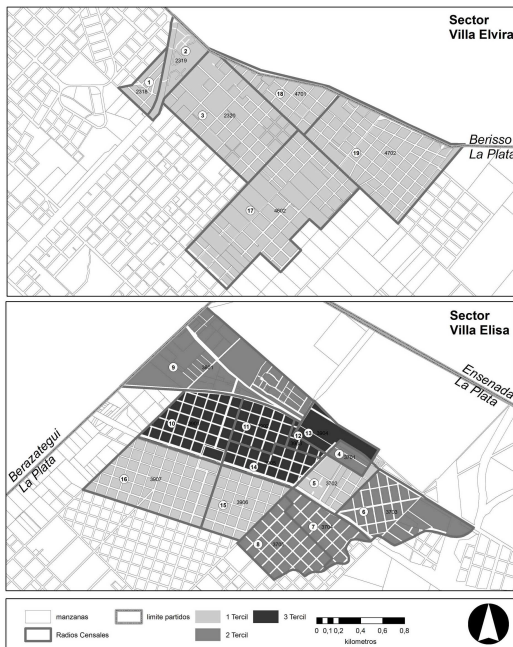


Figura 6. Valor de la tierra en \$/m²

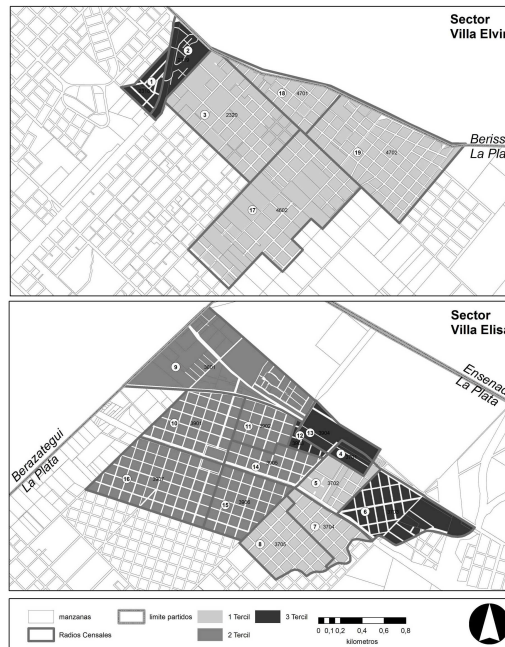


Figura 7. Gasto en energía \$ año/cápita

Las Figuras 8 y 9 muestran dichas correlaciones entre las variables seleccionadas, normalizadas según su corte por terciles las cuales permitieron avanzar en la comprensión de diversos patrones potenciales de comportamientos a construir.

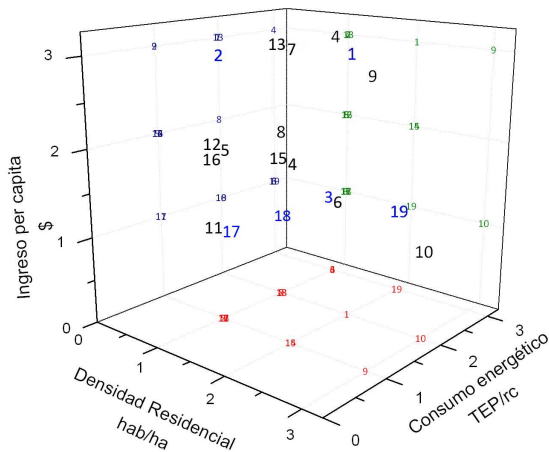


Figura 8. Densidad Residencial neta + Ingreso/cápita + Consumo energético Residencial

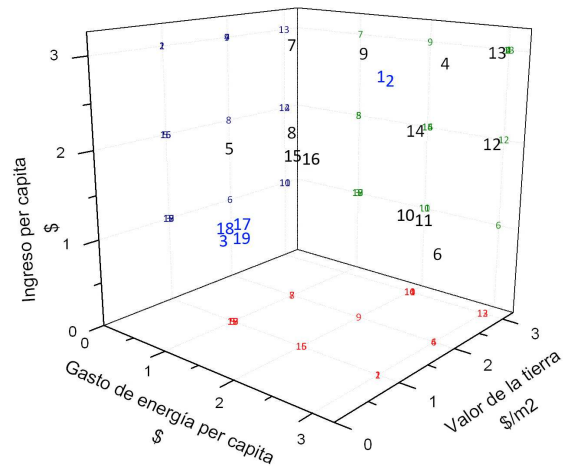


Figura 9. Valor de la tierra + Gasto en energía + Ingreso/cápita

Con estos datos normalizados y divididos por terciles, se construyó una matriz que permite relacionar los rangos de la distribución de cada variable en cada radio censal de las ZT analizadas. La siguiente tabla sintetiza esas relaciones.

VILLA ELVIRA							
RADIO CENSAL	CONSUMO ENERGÉTICO		DENSIDAD RESIDENCIAL	VALOR DE LA TIERRA (\$/m²)	INGRESO (\$/Hab)	TOTAL	
	(TEP)	(\$año/cápita)					
17	1	1	1	1	1	5	BAJO
3	3	1	1	1	1	7	BAJO
18	2	1	2	1	1	7	BAJO
2	1	3	1	1	3	9	MEDIO
19	3	1	3	1	1	9	MEDIO
1	2	3	3	1	3	12	ALTO

VILLA ELISA							
RADIO CENSAL	CONSUMO ENERGÉTICO		DENSIDAD RESIDENCIAL	VALOR DE LA TIERRA (\$/m²)	INGRESO (\$/Hab)	TOTAL	
	(TEP)	(\$año/cápita)					
5	1	1	1	1	2	6	BAJO
16	1	2	1	1	2	7	BAJO
11	1	2	1	3	1	8	MEDIO
15	1	2	2	1	2	8	MEDIO
7	2	1	1	2	3	9	MEDIO
8	2	1	2	2	2	9	MEDIO
9	1	2	1	2	3	9	MEDIO
12	1	3	1	3	2	10	MEDIO
6	3	3	2	2	1	11	ALTO
10	2	2	3	3	1	11	ALTO
14	1	2	3	3	2	11	ALTO
4	3	3	2	2	3	12	ALTO
13	2	3	1	3	3	12	ALTO

Sector Villa Elvira

Sector Villa Elisa

Tabla 2: Distribución de variables territoriales por rangos normalizados según radio censal en Villa Elvira y Villa Elisa.

Villa Elvira se caracteriza por tener valores de la tierra bajos en relación al universo analizado (Villa Elvira y Villa Elisa). Sin embargo un área más cercana al casco de la ciudad de La Plata está representada por los valores más altos y registran

consumos energéticos per cápita, densidad e ingresos per cápita cercanos a los máximos valores. Por otro lado, existen valores medios que se caracterizan por un comportamiento heterogéneo de las variables analizadas y una predominancia de valores bajos representados por bajo consumo energético per cápita y bajo e ingreso per cápita. En cambio en Villa Elisa predominan valores altos de consumo energético per cápita y valor de la tierra, concentrados principalmente en el sector que es atravesado por importantes vías de comunicación de la región. El comportamiento medio está representado principalmente por un alto valor de la tierra y alto ingreso per cápita, siendo que el consumo energético per cápita y la densidad residencial se aproximan a la media del universo analizado.

Se verifica que los rangos de la distribución de Consumos Energéticos (en unidades físicas o monetarias) no están linealmente asociados con rangos equivalentes en las otras variables consideradas, sino que – en ambas ZT - su perfil es variable. En una primera aproximación, se verifica que esta lectura territorial ‘estructural’ no es conclusiva como se detalla a continuación:

- **Consumo energético -Nivel de ingreso:** Los análisis encarados indican que existe una relación directamente proporcional entre consumo energético residencial y el nivel de ingreso en los radios en los que predomina el nivel de ingresos medio-bajo. En cambio, el consumo energético residencial es menos sensible a esta variable económica en los radios donde predominan los niveles de ingreso medio altos y se observa que los patrones de gasto energético residencial son relativamente independientes del nivel de ingreso de la población considerada.
- **Consumo energético - Valor de la tierra:** Desde el punto de vista urbano, el valor de la tierra cualifica la componente espacial territorial mientras que el consumo energético cualifica el comportamiento poblacional. En los análisis realizados, el valor de la tierra resulta la variable menos discriminante de los patrones de consumo de energía residencial. Este suele tener una buena correlación con variables descriptivas de la densidad del espacio construido y/o con patrones de movilidad urbana y centralidad de actividades.
- **Consumo energético - Densidad residencial:** Los análisis indican que la densidad residencial neta no tiene un comportamiento uniforme ni discernible respecto del consumo energético residencial. Este resultado es contraintuitivo. En este sentido cabe recordar que la densidad residencial (DR) describe población y no espacio residencial. Para el caso de Villa Elvira el gasto energético es bajo para los tres niveles de densidad residencial y es alta para un caso específico que presenta parte de DR alta y parte de DR baja. Para el caso de Villa Elisa, el gasto energético predominante corresponde a la DR media mientras que el menor gasto energético residencial se reparte entre densidad residencial media y baja. Los análisis describen que el gasto medio de energía residencial es predominante en Villa Elisa y correspondiente a valores heterogéneos de DR, mientras que el gasto de energía residencial es predominantemente bajo en Villa Elvira y corresponde a valores heterogéneos de DR.

CONCLUSIONES

Los análisis encarados sobre un primer prototipo reducido nos han permitido:

- Territorializar las variables seleccionadas analizando las interrelaciones entre consumo de energía, usos del suelo y sistemas de movilidad en niveles altos de desagregación (radios censales);
- Establecer compatibilidades entre diversos niveles de desagregación territorial;
- Relacionar y verificar la consistencia de las distintas correlaciones múltiples entre las primeras variables estudiadas;
- Avanzar en el desarrollo metodológico e instrumental necesario para construir una representación adecuada de dinámicas energéticas urbanas.

En cuanto al sistema de ecuaciones del modelo NUMEX, las lecturas metodológicas preliminares sugeridas por los análisis reseñados hasta aquí, permitirán refinar la estrategia para avanzar en su formalización:

- En relación al cálculo de los consumos energéticos de la población, la capacidad explicativa de variables estructurales que caracterizan las unidades territoriales (precio de la tierra, nivel de consolidación, nivel de cobertura de equipamientos sociales, distancia a centralidades, densidad residencial neta, espacio construido residencial) debe ser complementada con las que permiten estratificar comportamientos específicos de los hogares (nivel de ingreso medio per cápita, tamaño del hogar, número de hijos, posesión de medios de transporte propios, características constructivas y niveles de calidad de las viviendas ocupadas, equipamiento de la unidad doméstica y similares).
- Ampliar el análisis en territorios continuos nos permitiría verificar la aplicabilidad de los patrones esbozados hasta aquí.
- Analizar correlaciones múltiples - que midan la incidencia diferencial de diversas variables sobre la magnitud y perfiles de los consumos energéticos de distintos estratos de la población - permitirán ajustar la formulación de las ecuaciones ‘contables’ del modelo.
- La combinación de ambos tipos de análisis (capacidad explicativa y pesos relativos de las variables involucradas) permitirá establecer con mayor precisión tanto las secuencias de cálculo como las desagregaciones más pertinentes en el sistema de ecuaciones.
- Los sucesivos ensayos en la formulación y experimentación de esas secuencias y desagregaciones permitirán establecer cuáles son las condiciones de contorno más significativas en la determinación de los comportamientos de la demanda de energía y, por ende, cómo éstas serán incluidas en las ecuaciones mediante ‘coeficientes de política’.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aón, L., (2003) Configuración de Patrones de Apropiación del Espacio Residencial y de Conductas de Movilidad. Actas del XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. Tomo II páginas 134- 151. Editorial Universidad Católica de Chile.
- Brea, B., Martini, I., Discoli, C., Ferreyro, C., Rosenfeld, E. (2008). Atlas energético ambiental para el partido de la plata. Comportamiento energético del sector residencial. Análisis de las variables energéticas y socio-demográficas. ASADES (*Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.) Vol. 12. ISSN 0329-5184, pp 01.21-01.28.
- Discoli, C., Martini, I., San Juan, G., Rosenfeld, E., Dicroce, L., Ferreyro, C. (2008). Modelo de calidad de vida urbana. Contrastes urbanos a partir de los niveles de calidad de los servicios energéticos principales y de los aspectos ambientales. ASADES (*Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.) Vol. 12. ISSN 0329-5184, pp 0.1-37-0.1.43.
- Karol, J. L., Martini, I., San Juan, G., Discoli, C., Ravella, O. y Rosenfeld, E. (2008), Modelo conceptual para la experimentación numérica de estrategias y políticas de desarrollo urbano, en el marco de la sustentabilidad ambiental y energética. ASADES '08, XXXI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente - Tema 7: uso eficiente y racional de la energía. Políticas y economía energética - Mendoza, Noviembre 2008,
- Karol, J., Ravella, O., Martini, I., Sánchez Arrabal, M.B., Aón, L., Domnanovich, R., Tauber, F., Frediani, J., Salas, R., Avalos, A., (2009), "NUMEX. Desarrollo de un modelo de simulación de la dinámica urbana para la experimentación numérica de políticas y estrategias de desarrollo sustentable". IIPAC, FAU, UNLP, IV Jornadas FAU de Proyectos de Investigación, La Plata, Noviembre.
- Karol, J.L., Domnanovich, R., (2010), Building-up urban scenarios: assessing institutional feasibility and political viability of strategic trajectories. IT-GO 2010 "Territorial Intelligence and socio-ecological foresight" Nantes + Rennes, March 24/26
- Ravella, O., Aón, L., Olivera, H., Giacobbe, N., Frediani, J., Elizalde, E., Wright, S., Moro, S., Alvarez, L., (2002), La modelización integrada Transporte – Uso del suelo como herramienta de la planificación urbana. UI 6B-IDEHAB – FAU – UNLP.
- Ravella, O., Carriquiriborde, H., Gershanik, G. (2004), El Transporte Urbano de Pasajeros en la Micro-Región del Gran La Plata. IDEHAB – FAU – UNLP.
- Ravella, O., Aón, L., Olivera, H., (2004) Modelización Integrada de uso de suelo y transporte revista Averma Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Volumen 8 Tomo 2 Art. 145 Páginas: 73-78 Ed. ASADES. ISSN: 03295184
- San Juan, C., Discoli, I., Martini, C., Ferreyro, E., Rosenfeld, D., Barbero, B., Brea, M., Melchiori, L., Dicroce, C., Dominguez, S., Stangue. (2006). Estructura de un Atlas Urbano-Ambiental para la región del Gran La Plata. Sistematización de las variables intervinientes. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10, pp. 37-44, CD, ISBN 0329-5184.

ABSTRACT: The paper discusses progresses towards the development of a simulation model of urban dynamics (NUMEX) centered on the interrelations among energy consumption, land use, mobility systems and their environmental impacts, in order to assess alternative urban development policies and strategies in Greater La Plata Micro-region. We discuss some conceptual, methodological and instrumental aspects related to the model's formulation and representation in a first reduced prototype.