



7^{mo} Congreso de Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL ÁMBITO URBANO

Software for the development of support systems for decision making in the urban
areas

Dante Andrés Barbero ^{1, a, *}, Amparo Arteaga ^{1, b}, Gustavo San Juan ^{1, c}

¹ Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC),
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata,
Calle 47 N° 162, CC 478, CP 1900. La Plata, Argentina.
Tel./fax 54-0221-4236587 interno 250 interno 31.

^a Investigador Asistente del CONICET. dantebarbero@yahoo.com.ar

^b Becaria del CONICET. Beca de postgrado tipo I. arteaga.amparo@gmail.com

^c Investigador Adjunto del CONICET. gustavosanjuan60@hotmail.com

Autor para correspondencia: +54 221 423 6587 int. 250 int. 31 dantebarbero@yahoo.com.ar

Palabras clave: Planificación urbana, framework, diagnóstico, indicadores, índices

Keywords: Urban planning, framework, diagnosis, indicators, indices

Título abreviado: Software para SSD en el ámbito urbano

ABSTRACT

This paper presents the development and use of a software that allows to build decision support systems (DSS) based on quantitative indicators and indices. The software has a high degree of generality, therefore it enables to represent different decision support systems instead of representing a specific one. The developed software has been implemented by combining different design patterns within the paradigm of the object-oriented programming. The software enables to maintain the consistency among the values of indicators and indices even in the case of systemic models with cycles. Also, the software can be coupled to a GIS in order to visualize geographically the values reported by indicators and indices and it allows to observe this values at a given time (run once mode) or see its value as a function of time (monitoring mode). As an example, a demonstration of the software usage to diagnose, by means of indicators and indices, the state of basic services of sanitation and infrastructure in all municipalities of the Buenos Aires province, is shown. Finally, the obtained results and possible measures that should be taken are analyzed.

RESUMEN

El presente trabajo presenta el desarrollo y uso de un software que permite construir sistemas de soporte para la toma de decisiones (SSD) basados en índices e indicadores cuantitativos. Dicho software posee un alto grado de generalidad, motivo por el cual sirve para implementar diferentes SSD en lugar de servir para resolver un problema específico. El software desarrollado ha sido implementado combinando diferentes patrones de diseño en el marco del paradigma de la programación orientada a objetos. El citado software permite mantener la consistencia de los valores entre índices e indicadores incluso en el caso de modelos sistémicos con ciclos.

Asimismo, es posible acoplar el software a un SIG para visualizar geográficamente los valores de los indicadores e índices declarados y permite visualizar en su interfase gráfica su valor en un momento dado (modo ejecutar una vez) o bien observar su valor, en función del tiempo (modo de monitoreo).

A modo de ejemplo, se muestra el uso del software para diagnosticar, por medio de indicadores, el estado de los servicios básicos de infraestructura y saneamiento en la totalidad de los Municipios de la Provincia de Buenos Aires. Por último, se analizan los resultados obtenidos y se discuten posibles medidas que debieran ser adoptadas.

INTRODUCCIÓN

El trabajo se enmarca dentro del proyecto PIP CONICET 112-20080-00606 “*Modelo de calidad de vida urbana. Metodología de diagnóstico orientada a evaluar el uso eficiente de los recursos, las necesidades básicas en infraestructura, servicios y calidad ambiental*”, financiado por la institución homónima. En tal proyecto surgió la necesidad de poder contar con una herramienta que pudiese ser aplicada a diferentes modelos basados en variables cuantitativas (indicadores e índices), y por ende aplicable a modelos de calidad de vida urbana (CVU), con lo cual permitir efectuar un monitoreo de los valores de tales indicadores e índices, manteniendo la consistencia entre estos valores, puesto que, en ocasiones, el cambio en alguno de ellos requiere recalcular el valor de otras variables relacionadas.

El problema de actualización de los valores de indicadores e índices interrelacionados es muy común en aplicaciones vinculadas a la planificación urbana y catastro (por ej.: en la actualización del tendido de redes, en la actualización dominial, entre otras). Por este motivo, resulta de gran utilidad poder contar con una herramienta de software que permita resolver este tipo de problemas.

METODOLOGÍA

Los *frameworks* son herramientas de software que poseen un alto grado de reusabilidad y generalidad, motivo por el cual sirven para resolver una familia de problemas de un tipo determinado, en vez de hacerlo para un problema específico. Este

trabajo presenta el diseño, la implementación y uso de un framework que permite representar modelos sistémicos basados en indicadores e índices cuantitativos. De este modo, es posible usar el framework para representar modelos de calidad de vida urbana, los cuales generalmente se basan en un conjunto de variables (indicadores e índices) cuantitativas que intentan describir el estado de múltiples dimensiones, por ejemplo, energética, social, de infraestructura, ambiental, económica, entre otras. Este trabajo se propone analizar la cobertura de los servicios de infraestructura y saneamiento puesto que, generalmente, estos forman una parte importante en la evaluación de la calidad de vida urbana. Por ejemplo, en el modelo de calidad de vida urbana desarrollado por Rosenfeld y colaboradores (Rosenfeld *et al.*, 2000), los servicios de infraestructura y saneamiento forman parte de una dimensión denominada *servicios urbanos y equipamiento* (Figura 1). En dicho trabajo, cada dimensión consta de una serie de índices e indicadores que la describen.

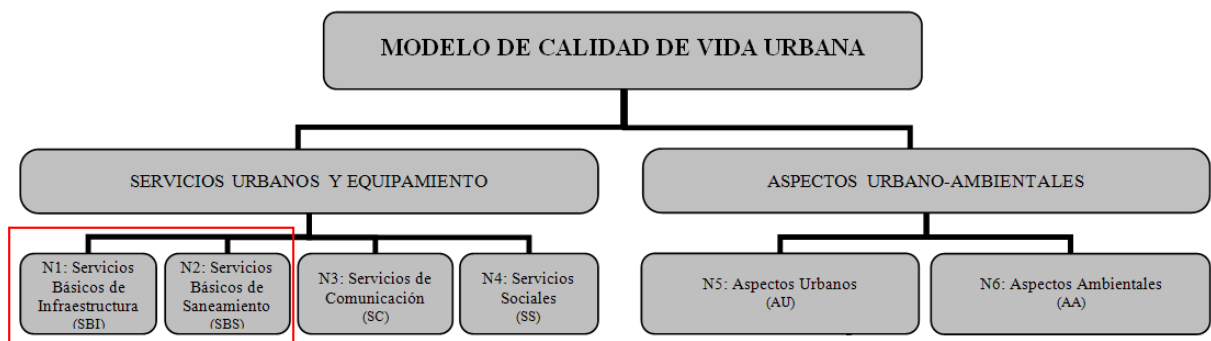


Figura 1. Estructura de un modelo de calidad de vida urbana (Rosenfeld *et al.*, 2000).

Figure 1. Structure of a urban life quality model (Rosenfeld *et al.*, 2000).

La metodología utilizada para desarrollar el framework fue la programación orientada a objetos, y más específicamente, el uso de patrones de diseño (Gamma *et al.*, 1995). Esto se debe a que los patrones de diseño permiten “...desarrollar una forma estandarizada

para representar soluciones generales de problemas que se encuentran comúnmente en el desarrollo de software...” (Stelting & Maasen, 2003).

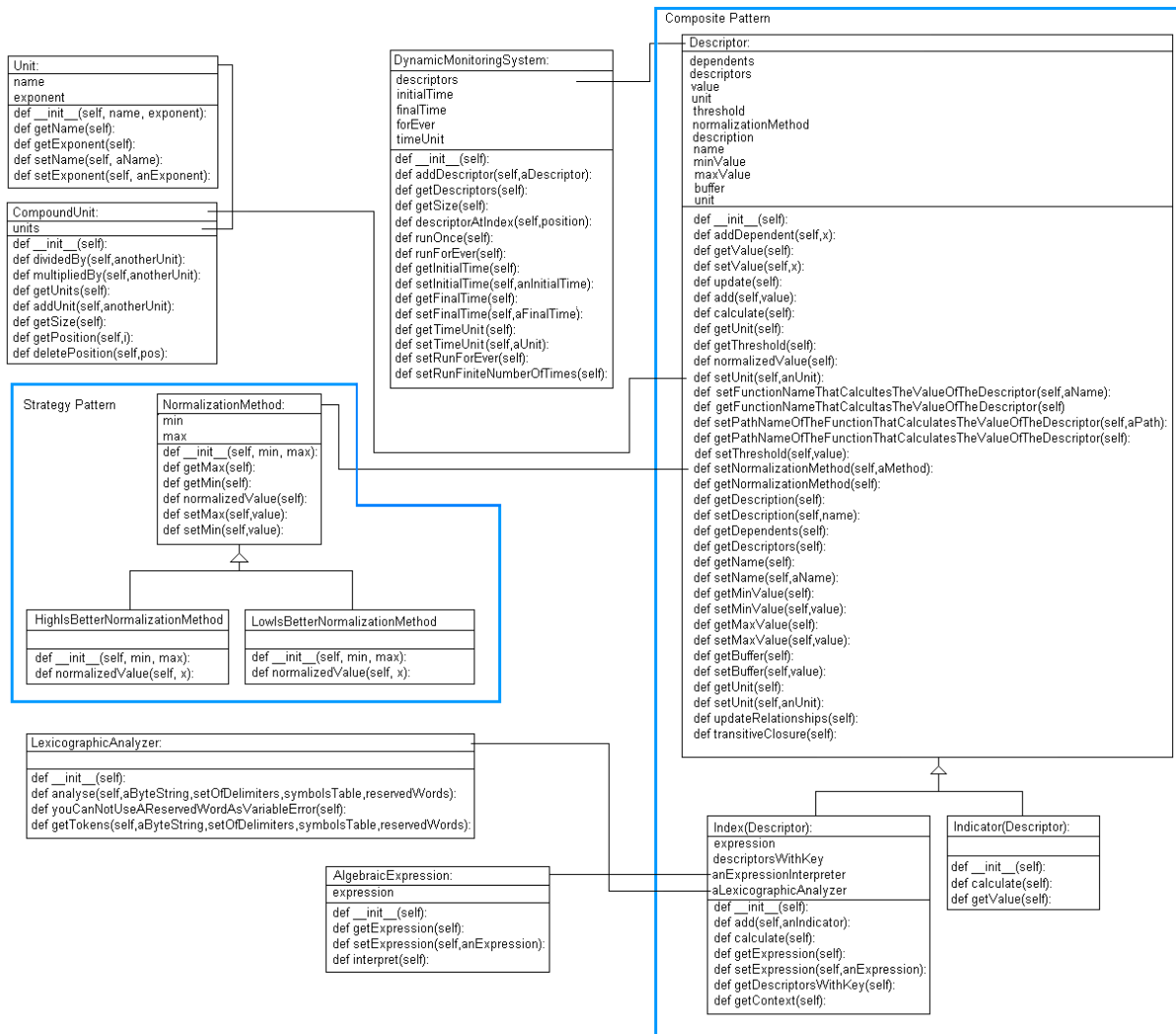


Figura 2. Framework para el desarrollo de modelos sistémicos basados en índices e indicadores cuantitativos (Barbero, 2008).

Figure 2. Framework for the development of systemic models based on quantitative indices and indicators (Barbero, 2008).

Como puede observarse en la Figura 2, tanto indicadores como índices tienen atributos en común tales como: nombre, valor, valor mínimo, valor máximo, umbral (threshold) y unidad, entre otros. Estos atributos comunes están definidos en la clase Descriptor. Los

atributos específicos de indicadores e índices se definen en las clases Index e Indicator respectivamente.

Con respecto a la modelización de índices e indicadores, se tiene que los índices están compuestos por conjuntos de indicadores (e incluso pueden incluir índices también), de modo que resulta adecuado el uso del patrón Composite (Gamma *et al.*, 1995 op. cit) ya que define una estructura común para manejar de manera uniforme las operaciones en una jerarquía. Por consiguiente dicho patrón fue usado para especificar índices e indicadores, siendo los primeros una combinación de indicadores con una magnitud asociada (adimensional generalmente). Asimismo, el patrón Strategy fue usado para poder setear el método de normalización que corresponda (recordemos que existen 2 fórmulas posibles: a mayor valor mejor situación o a mayor valor peor situación).

Otra parte del software de vital importancia, es el mecanismo de manejo de las dependencias y su actualización; ya que de él depende el correcto funcionamiento del framework. En la solución propuesta, la idea es que cada vez que ocurre un cambio en un índice o indicador, se verifica, qué índices están relacionados de manera directa o indirecta (exceptuando el que sufrió el cambio) y se los actualiza convenientemente. Este proceso se realiza en 2 pasos con la ayuda de las variables valor (value) y buffer:

- 1) Para cada objeto relacionado directamente o indirectamente con el que acaba de sufrir un cambio (excepto el que cambió) se calcula el nuevo valor que debería tomar y se almacena en la variable buffer.

- 2) Una vez que todos los objetos relacionados anteriores han terminado el paso 1) se actualiza el valor de la variable value con el que se encuentra almacenado en la variable buffer.

Este método es una adaptación del método stepSynchronously: presentado en el framework CORMAS del trabajo desarrollado por el CIRAD (CIRAD, 2003, p 7).

Dado el carácter genérico del software desarrollado, es posible acoplarlo a un SIG para visualizar geográficamente los cambios que produce la modificación del valor de una variable y, al mismo tiempo, observar su efecto sobre el resto de las variables del modelo.

A continuación se presentan las fórmulas para el cálculo de los indicadores, que luego serán representados en el framework, para evaluar la cobertura de los servicios de infraestructura y saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires.

CASO DE ESTUDIO: COBERTURA DE LOS SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURA Y SANEAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

A los efectos de mostrar el nivel de carencia de los servicios de infraestructura y saneamiento se normalizaron los valores para cada localidad de la provincia en base a la siguiente fórmula:

$$f(x) = (x - MIN) / (MAX - MIN) \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde:

MAX = Número de viviendas total del municipio.

MIN = 0.

x = Número de viviendas que carecen del servicio en el municipio.

Para mostrar el porcentaje de carencia de los servicios básicos de infraestructura y saneamiento en cada municipio, se normalizaron los valores usando la fórmula anterior, lo que da como resultado un número en el intervalo [0,1] para cada localidad de la provincia, y a este valor se lo multiplicó luego por 100 para convertirlo en porcentaje. Por lo tanto, la fórmula resultante es la siguiente (Fórmula 2):

$$\text{Porcentaje de viviendas sin el servicio } i \text{ en el municipio } j = \frac{\text{Viviendas sin el servicio } i \text{ en el municipio } j}{(\text{Viviendas con el servicio } i \text{ en el municipio } j + \text{Viviendas sin el servicio } i \text{ en el municipio } j)} * 100 \quad (\text{Fórmula 2})$$

Donde:

$i \in \{\text{Agua por red, saneamiento cloacal por red, energía eléctrica por red, gas natural por red}\}$

$j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires)

No obstante, no es lo mismo que una ciudad pequeña tenga el 10% de sus viviendas sin un servicio determinado, que si lo propio acontece con una ciudad con un gran número de viviendas. Por lo tanto, a los porcentajes anteriores hay que multiplicarlos por el número de viviendas de cada municipio respecto del total de viviendas de la provincia. Así, suponiendo que 2 municipios cuyos nombres son Municipio 1 y Municipio 2, tienen igual valor en el porcentaje de viviendas carente de un servicio (supongamos por ej.: 30%), y suponiendo además que el municipio 1 tiene 3000 viviendas, que el municipio 2 tiene 50000 viviendas y que el total de la provincia es de 90000 viviendas; el índice daría como resultado los siguientes valores para cada municipio.

Municipio 1 = $(3000 / 90000) (30) = 1$.

Municipio 2 = $(50000 / 90000) (30) = 16.66666$.

Por lo tanto, aún en el caso de que haya 2 municipios con igual valor de déficit de viviendas; aquel municipio con mayor número de viviendas carentes de un determinado servicio, recibirá un puntaje mayor. Este índice es útil para la toma de decisiones en el ámbito provincial. Su fórmula, en consecuencia, resulta ser la siguiente:

Porcentaje ponderado de viviendas sin el servicio i en el municipio j = $\text{Viviendas sin el servicio i en el municipio j} / (\text{Viviendas con el servicio i en el municipio j} + \text{Viviendas sin el servicio i en el municipio j}) * 100 * (\text{Viviendas con el servicio i en el municipio j} + \text{Viviendas sin el servicio i en el municipio j}) / (\text{Total de viviendas de la provincia})$

o equivalentemente:

Porcentaje ponderado de viviendas sin el servicio i en el municipio j = Viviendas sin el servicio i en el municipio j / Total de viviendas de la provincia * 100 (Fórmula 3)

Donde:

$i \in \{\text{Agua por red, saneamiento cloacal por red, energía eléctrica por red, gas natural por red}\}$

$j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires)

Uso del framework para representar el estado de los servicios de infraestructura y saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires

Para poder usar el framework se deben declarar en primer lugar todos los indicadores que formen parte del modelo a representar y luego todos los índices.

Por cada indicador, debemos especificar un nombre, un valor por defecto, la ubicación del script que calcula el valor del indicador, el valor máximo o mínimo admisible (threshold) y el resto de los atributos definidos en las clases Descriptor e Indicator. En el presente caso de estudio, es necesario declarar los siguientes 8 indicadores:

- (i). Porcentaje de viviendas sin cobertura de energía eléctrica por red.
- (ii). Porcentaje de viviendas sin cobertura de gas natural por red.
- (iii). Porcentaje de viviendas sin cobertura de agua potable por red.
- (iv). Porcentaje de viviendas sin cobertura de saneamiento cloacal por red.
- (v). Porcentaje de viviendas sin servicio de energía eléctrica por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia.
- (vi). Porcentaje de viviendas sin servicio de gas natural por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia.
- (vii). Porcentaje de viviendas sin servicio de agua potable por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia.
- (viii). Porcentaje de viviendas sin servicio de saneamiento cloacal por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia.

Los 8 indicadores anteriores se declararon en el framework con los siguientes nombres:

(i) CobEEr; (ii) CobGNr; (iii) CobApr; (iv) CobSCr; (v) CobEErPonderado; (vi) CobGNrPonderado; (vii) CobAprPonderado; (viii) CobSCrPonderado.

Se muestra a continuación el código fuente generado automáticamente por el framework para el cálculo del indicador del porcentaje de cobertura de la red de energía eléctrica por red (CobEEr) en cada municipio.

```

CobEEr=Indicator()
CobEEr.setName("CobEEr")
CobEEr.setValue(0)
CobEEr.setNormalizationMethod(LowIsBetterNormalizationMethod(0,100))
CobEEr.setMinValue(0)
CobEEr.setMaxValue(100)
CobEEr.setThreshold(70)
CobEEr.setUnit("%")
CobEEr.setDescription("Porcentaje de viviendas sin cobertura de energía eléctrica por
red ")
CobEEr.setPathNameOfTheFunctionThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("C:/Pyt
hon25/proyecto/CobEEr.py")
CobEEr.setFunctionNameThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("cobEEr")
self.dms.addDescriptor(CobEEr)

```

Las declaraciones de los 7 indicadores restantes, es similar a la anterior y el código resultante generado le sigue a continuación al de ésta última. Una vez declarados todos los indicadores se debe especificar si deseamos que el framework calcule tales valores una vez o si se desea que trabaje en modo de monitoreo.

El framework siempre mantiene el registro de los valores numéricos actuales de los indicadores e índices. Para el caso expuesto, se observan los resultados obtenidos a nivel provincial (Figura 3) o cada uno de los 134 municipios. Opcionalmente, se puede configurar que los mapas generados como salida también sean mostrados.

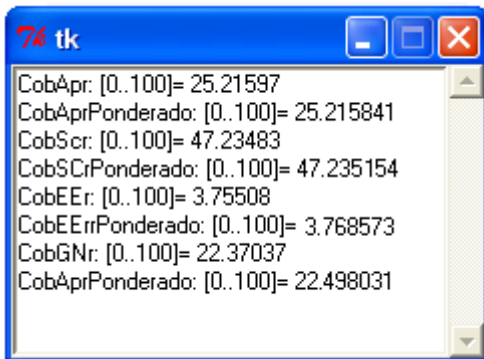


Figura 3. Resultados obtenidos a nivel provincial para cada uno de los 8 indicadores.

Figure 3. Results at provincial level for each one of 8 indicators.

Adicionalmente, al ejecutar el framework una vez y pedirle que devuelva los mapas generados, las salidas (mapas) obtenidas fueron las que se observan en las figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

RESULTADOS

Para cada servicio de infraestructura (electricidad por red y gas por red) y saneamiento (agua por red y red cloacal) considerado se construyó un mapa mostrando el porcentaje de carencia del servicio (Figuras 4 y 5).

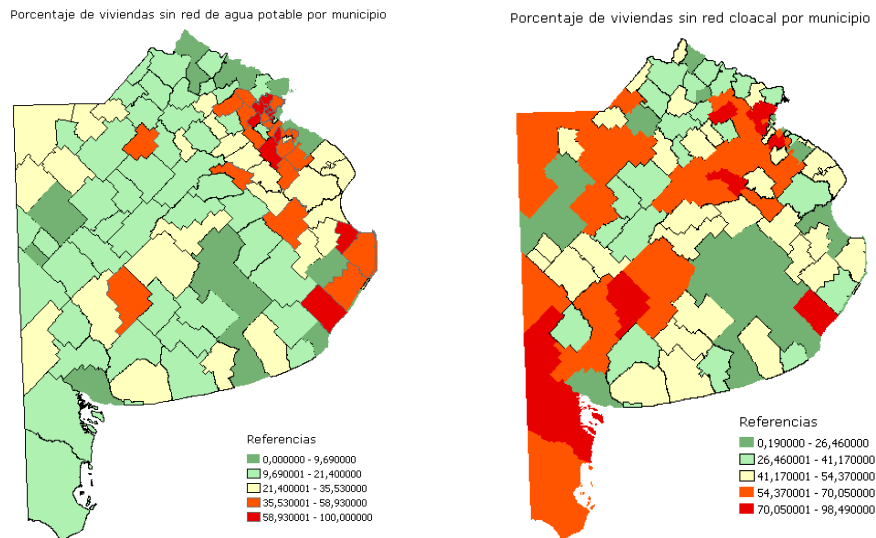


Figura 4. Mapa del porcentaje de viviendas sin cobertura del servicio de agua potable por red (Izquierda) y mapa del porcentaje de viviendas sin red de saneamiento cloacal (Derecha). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Figure 4 Map of coverage percentage of households without connection to the potable water network (Left) and. map of coverage percentage of households without connection to the sanitation sewage network (Right). Source: Own calculation based on INDEC data.

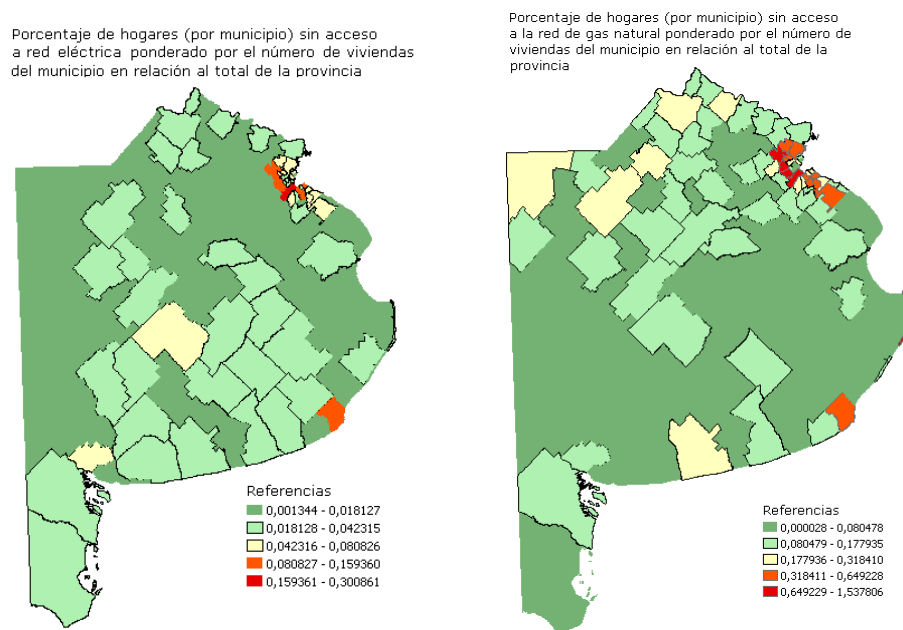
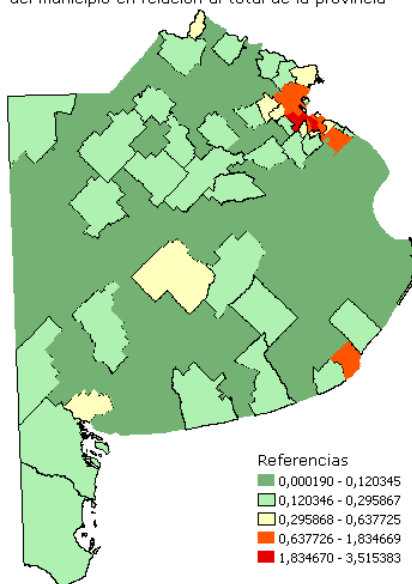


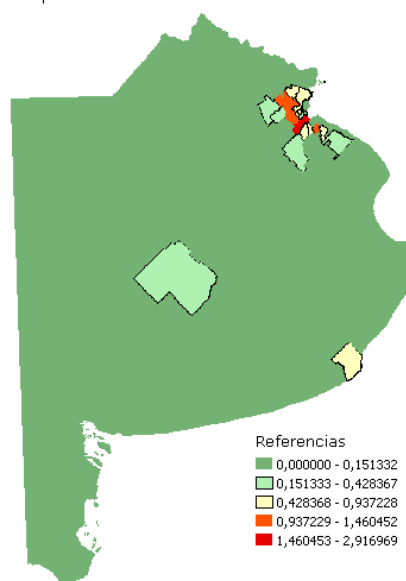
Figura 5. Mapa del porcentaje de viviendas sin cobertura del servicio de gas natural por red (Izquierda) y mapa del porcentaje de viviendas sin acceso a la red de energía eléctrica (Derecha). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Figure 5. Map of coverage percentage of households without connection to the natural gas network (Left) and map of coverage percentage of households without connection to the electric energy network (Right). Source: Own calculation based on INDEC data.

Porcentaje de hogares (por municipio) sin acceso a red cloacal ponderado por el número de viviendas del municipio en relación al total de la provincia



Porcentaje de hogares (por municipio) sin acceso a red de agua potable ponderado por el número de viviendas del municipio en relación al total de la provincia



Los resultados obtenidos al calcular el indicador ponderado (Fórmula 3) para cada uno de los servicios se observan en las Figuras 6 y 7.

Figura 6. Mapa del porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia (Izquierda) y mapa del porcentaje de viviendas sin servicio de gas por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia (Derecha). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Figure 6. Map of coverage percentage of households without connection to the electric energy network weighted by number of households of each municipality divided by the total household in the province (Left) and map of coverage percentage of households without connection to the natural gas network weighted by number of households of each municipality divided by the total household in the province (Right). Source: Own calculation based on INDEC data.

Figura 7. Mapa del porcentaje de viviendas sin servicio de saneamiento cloacal por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia (Izquierda) y mapa del porcentaje de viviendas sin servicio de agua por red ponderado por el número de viviendas del municipio respecto del total de viviendas de la provincia (Derecha). Fuente: elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Figure 7. Map of coverage percentage of households without connection to the sanitation sewage network weighted by number of households of each municipality divided by the total household in the province (Left) and map of coverage percentage of households without connection to the potable water network weighted by number of households of each municipality divided by the total household in the province (Right). Source: Own calculation based on INDEC data.

Las figuras 6 y 7 muestran, para cada servicio de infraestructura y saneamiento, los municipios que, considerando el número de viviendas respecto del total de viviendas de la provincia, son los más afectados. Estos municipios figuran en color rojo.

CONCLUSIONES

El modelo genérico (framework) presentado para el desarrollo de modelos basados en índices e indicadores cuantitativos ha podido ser aplicado para el análisis de las coberturas de los servicios de infraestructura y saneamiento y puede, además, ser aplicado a cualquier otro dominio donde la representación de modelos basados en indicadores e índices cuantitativos sea una alternativa válida. Adicionalmente, el framework posee las siguientes características:

- El desarrollo de una interfase gráfica para el framework permite ejecutarlo como una aplicación autónoma evitando tener que ingresar instrucciones por teclado.

También, la interfase facilita la declaración de los índices e indicadores que componen el modelo a representar.

- El framework genera código de manera automática a medida que se van especificando los índices e indicadores del modelo a representar.
- Es posible de guardar el código fuente de un modelo en forma de script para su uso posterior, evitando la tarea de declararlo cada vez que sea utilizado.
- La integración del framework en forma de script a entornos SIG permite visualizar geográficamente los cambios que produce la modificación del valor de una variable (índice o indicador) sobre el resto de las variables de un modelo.

Respecto de la utilización del framework para estimar el nivel de carencia de los servicios de infraestructura y saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires, se puede inferir que:

- Los resultados obtenidos a partir de la primer fórmula permiten rápidamente dar cuenta del grado de cobertura de los diferentes servicios en cada municipio para iniciar acciones en función del nivel de criticidad observado y de los recursos disponibles. Por lo tanto, el valor de este indicador en un momento dado puede resultar de gran utilidad y servir de soporte para la toma de decisiones en el ámbito de cada municipio.

- Si bien en este trabajo se presentan los resultados de evaluar el déficit de cobertura de los servicios básicos de *infraestructura y saneamiento* (energía eléctrica, gas natural, agua potable, y red cloacal), a escala provincial -debido a que el aporte se asienta sobre la construcción de la herramienta, más que sobre la información alcanzada- también se podría extender la modelización a otros aspectos tales como la evaluación de los *servicios de comunicación y servicios sociales* (ej.: transporte público, salud, educación, entre otros), y también a *aspectos urbanos y ambientales*.
- Otra posible aplicación del framework podría ser la evaluación de la vulnerabilidad socio-territorial por medio de un conjunto de indicadores e índices que permitan relacionar, por ejemplo, aspectos tales como la energía, ocupación y usos del suelo, áreas inundables, sistemas alternativos de tratamiento de efluentes y servicios energéticos, niveles socio-económicos, conectividad regional, calidad del aire/tierra/agua, déficit de vivienda, entre otros; lo cual brinda la posibilidad de obtener información relevante para la toma de decisiones, definir áreas o regiones homogéneas y generar políticas de intervención.
- Los resultados obtenidos con el índice ponderado reflejan la situación de cada municipio con respecto al total de la provincia, motivo por el cual es útil para la toma de decisiones a nivel provincial.

Por lo anterior, se concluye que el framework propuesto puede resultar de gran ayuda como herramienta de soporte para la toma de decisiones a nivel municipal, regional e incluso a nivel provincial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbero DA. 2008. *Modelo sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida*. Tesis Doctoral de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina: 189 p
- CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Francia). 2003. CORMAS tutorial 1. Manipulation of an existing example and creation of a new model. <http://cormas.cirad.fr/pdf/CormasTutorial1.pdf>
- Gamma E, Helm R, Johnson R & Vlissides J. 1995. ***Design patterns: Elements of reusable object-oriented software***. Editorial Addison-Wesley, 1 ed, Estados Unidos: 416 p
- INDEC. 2012. Censo nacional de población, hogares y viviendas 2001. www.indec.gov.ar
- Rosenfeld E, San Juan G & Discoli C. 2000. Índice de calidad de vida urbana para una gestión territorial sustentable. *Avances en energías renovables y medio ambiente*. INENCO, Salta, 4(1): 1.35-1.38
- Stelting S & Maassen O. 2003. *Patrones de diseño aplicados a Java*. Editorial Pearson-Prentice Hall, Madrid: 616 p