

Dante Andrés Barbero | dantebarbero@yahoo.com.ar
Investigador Asistente del CONICET
Irene Martini | irene_martini@yahoo.com.ar
Investigador Asistente del CONICET
Carlos Alberto Discoli | discoli@rocketmail.com
Investigador Independiente del CONICET
Instituto de Investigaciones y Políticas del
Ambiente Construido (IIPAC).
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Universidad Nacional de La Plata.

FRAMEWORK PARA EL MONITOREO DE ÍNDICES E INDICADORES EN LA PLANIFICACIÓN URBANA Y REGIONAL

RESUMEN

Los frameworks son herramientas de software que poseen un alto grado de generalidad y rehusabilidad, motivo por el cual sirven para resolver clases de problemas en lugar de resolver un problema específico. Este trabajo presenta el diseño, la implementación y el uso de un framework que permite construir sistemas de soporte para la toma de decisiones –basados en índices e indicadores cuantitativos– en el ámbito urbano y regional. Por esta razón, es posible usar el framework para representar índices e indicadores presentes en modelos de sustentabilidad urbana o en modelos de calidad de vida urbana, dado que estos suelen incluir índices e indicadores cuantitativos que intentan describir el estado de las diferentes dimensiones, por ejemplo: energética, social, de infraestructura, ambiental y

económica, entre otras. Tales índices e indicadores no son siempre independientes unos de otros sino que a menudo están interrelacionados. Por lo tanto, el cambio en alguno de ellos suele requerir volver a calcular el valor de otros relacionados. Este problema es muy común en aplicaciones relacionadas con la planificación urbana y regional. No obstante, el software desarrollado permite mantener la consistencia de los valores de índices e indicadores aún en el caso de modelos sistémicos con ciclos. Además, puede ser acoplado a un SIG para visualizar geográficamente los valores reportados por los índices e indicadores y mostrarlos en un instante dado (modo ejecutar una vez) u observar dichos valores en función del tiempo (modo monitoreo). A modo de ejemplo, se muestra el uso del framework

para representar el estado de los servicios básicos de saneamiento (agua por red y cloaca por red) en todos los municipios de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos y se mencionan posibles medidas que deberían ser adoptadas.

PALABRAS CLAVES: MODELO; GENÉRICO; SISTÉMICO; SISTEMA DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES; PLANIFICACIÓN URBANA Y REGIONAL.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto PICT 2012-2172 “Construcción de escenarios urbanos a partir de un diagnóstico energético-ambiental” financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). Dicho proyecto tiene por objetivo analizar el uso de la energía de los sectores residencial y transporte en el área de estudio a los efectos de establecer posibles escenarios futuros con el objeto de diseñar y evaluar distintas estrategias tendientes a reducir los consumos energéticos residenciales y de transporte, y mejorar las condiciones de habitabilidad, en el marco de diferentes escenarios de crecimiento urbano y analizar la viabilidad de medidas que pudieran ser adoptadas. Se espera que los resultados de este proyecto sirvan para concientizar a la gestión pública acerca de adoptar herramientas de soporte para la toma de decisiones para mejorar la planificación urbana y regional como así también la gestión de los municipios.

En el citado proyecto surgió la necesidad de poder contar con una herramienta que pudiese calcular el valor de índices e indicadores urbanos cuantitativos y observar su espacialización en el territorio que permitiera efectuar un monitoreo de los valores de tales índices e indicadores, manteniendo la consistencia entre estos valores puesto que, en ocasiones, el cambio en alguno de ellos requiere recalcular el valor de otros relacionados con el que sufrió el cambio.

La actualización de los valores de índices e indicadores interrelacionados es un problema 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 ello, resulta útil 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 rehusabilidad y generalidad, y es por ello que sirven para resolver una familia de problemas de una determinada

clase en vez de resolver un problema específico. Este trabajo presenta el diseño, la implementación y uso de un framework que permite representar modelos sistémicos basados en índices e indicadores cuantitativos. Así, es posible usar el

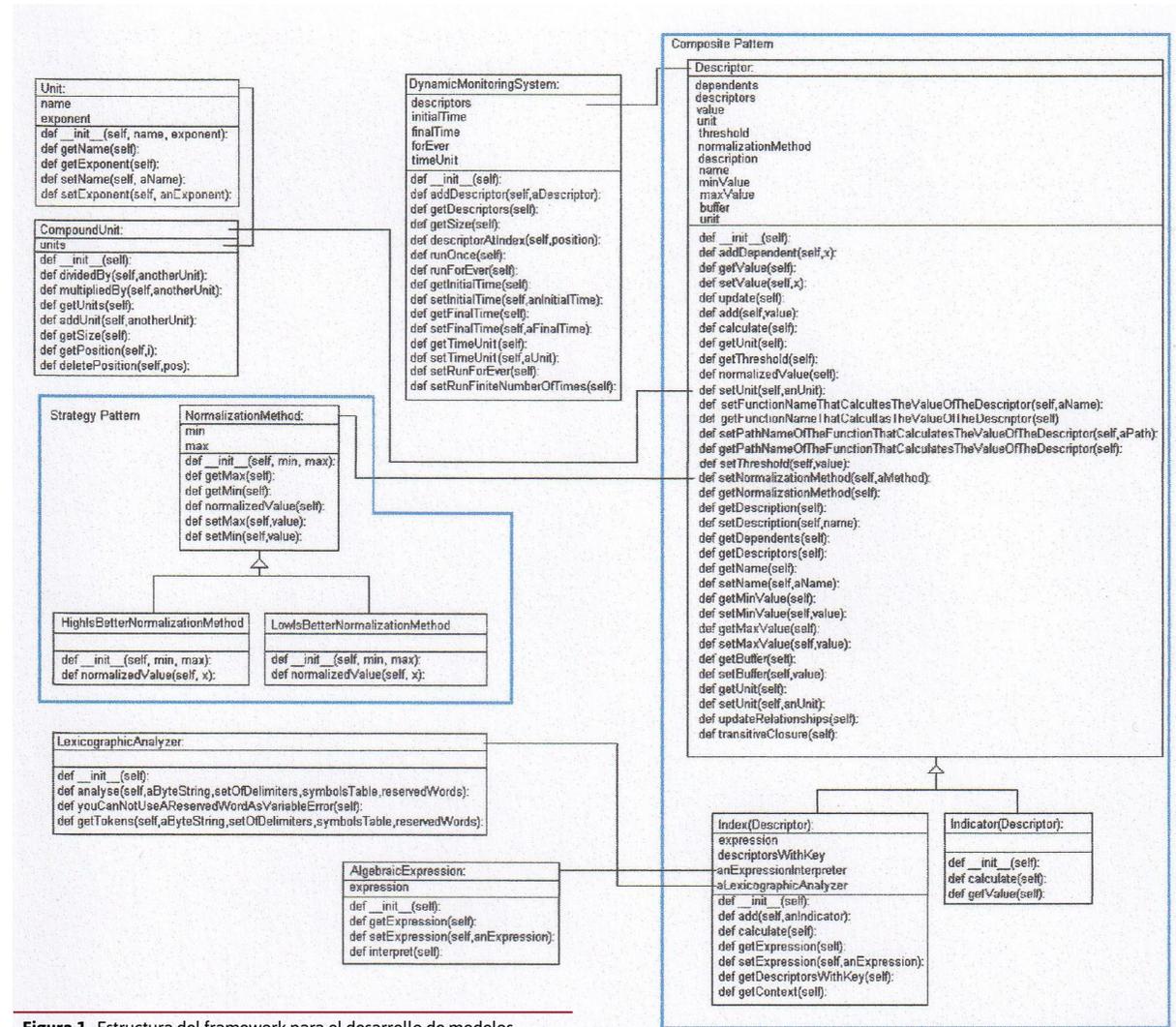


Figura 1 -Estructura del framework para el desarrollo de modelos sistémicos basados en índices e indicadores cuantitativos (Barbero 2008).

framework para representar índices o indicadores cuantitativos vinculados con la planificación urbana y regional.

El uso de patrones de diseño (Gamma et al., 1995) fue la metodología utilizada, en el marco de la programación orientada a objetos, para desarrollar el framework. El uso de esta metodología se debe a que la misma permite “desarrollar una forma estandarizada para representar soluciones generales de problemas que se encuentran comúnmente en el desarrollo de software” (Stelting & Maasen, 2003).

En la figura 1 se puede observar la estructura del framework, las clases que lo componen, las interrelaciones entre clases (uniones mediante líneas negras) y los patrones de diseño presentes (recuadros de color celeste).

Se puede apreciar, a partir de la Figura 1, que tanto índices como indicadores 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 y son heredados por los objetos de la clase Index y los de la clase Indicator. Estas 2 últimas clases definen los atributos de los índices e indicadores respectivamente. Dichas clases poseen algunos atributos en común y otros que son específicos de cada una. En cuanto a la modelización de índices e indicadores, es sabido que la fórmula de los índices es una expresión matemática compuesta por indicadores (e incluso puede incluir índices también) de modo que resulta adecuado el uso del patrón Composite (Gamma et al., 1995 op. cit), ya que el mismo define una estructura común para manejar de manera uniforme las operaciones en una jerarquía. Por ende, fue usado para especificar índices e indicadores, siendo los primeros una combinación de indicadores con una magnitud asociada (adimensional generalmente). El patrón Strategy

se usó en el framework para poder especificar el método de normalización que corresponda (existen 2 fórmulas posibles: la que asigna mayores valores cuando mejor es la situación o la que asigna mayor valor cuando peor es la situación) ya que existe más de una alternativa posible.

El software cuenta con un mecanismo para el manejo de las dependencias entre variables (índices o indicadores) y su actualización. Este mecanismo actúa cada vez que ocurre un cambio en un índice o indicador, verificando qué índices están relacionados de manera directa o indirecta (exceptuando el que sufrió el cambio) con el que sufrió el cambio y realizando las actualizaciones correspondientes.

El software desarrollado fue acoplado al SIG ArcGIS 9² para visualizar geográficamente, mediante mapas, los cambios que produce la modificación del valor de una variable sobre el resto de las mismas. A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo de los indicadores, que luego fueron representados en el framework para evaluar la cobertura de los servicios básicos de saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires.

Caso de estudio: Cobertura de los servicios básicos de saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires.

Para mostrar el nivel de carencia de los servicios de saneamiento de localidad de la provincia se procedió a normalizar los valores en base a la siguiente fórmula:

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

Donde:

MAX = Número de hogares total del municipio.

MIN = 0.

¹ ArcGIS es un producto © de la empresa ESRI

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

Para mostrar el porcentaje de carencia de los servicios básicos de saneamiento en cada municipio, se normalizaron los valores usando la fórmula anterior, lo que da como resultado un número en el intervalo [0,1] y a dicho valor se lo multiplicó luego por 100 para convertirlo en porcentaje. La fórmula resultante es la siguiente:

Porcentaje de hogares sin el servicio i en el municipio j = Hogares sin el servicio i en el municipio j / (Hogares con el servicio i en el municipio j + Hogares sin el servicio i en el municipio j) * 100

Donde:

i ∈ {Agua por red, saneamiento cloacal por red}

j ∈ {Adolfo Alsina, ... , Zárate} (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires)

Cabe destacar que no es lo mismo que una ciudad pequeña tenga el 10% de sus hogares sin un servicio determinado, que si lo propio acontece con una ciudad con un gran número de hogares. Por lo tanto, a los porcentajes anteriores hay que multiplicarlos por el número de hogares de cada municipio respecto del total de hogares de la provincia. De esta manera, suponiendo que 2 municipios cuyos nombres sean Municipio 1 y Municipio 2, tienen igual valor en el porcentaje de hogares carentes de un servicio (supongamos por ej.: 20%), y suponiendo además que el municipio 1 tiene 2.000 hogares, que el municipio 2 tiene 80.000 hogares y que el total de la provincia es de 100.000 hogares; el índice daría como resultado los siguientes valores para cada municipio.

Municipio 1 = (2.000 / 100.000) (20) = 0,4.

Municipio 2 = (80.000 / 100.000) (20) = 16.

Por lo tanto, aún en el caso de que haya 2 municipios con igual valor de déficit de hogares; el municipio con mayor número de hogares carentes de un determinado servicio obtendrá un puntaje mayor. De allí la importancia de este índice, en cuanto a la cobertura de cada servicio, para la toma de decisiones en el ámbito provincial. Por lo antes expuesto, la fórmula del indicador es entonces la siguiente:

Porcentaje ponderado de hogares sin el servicio i en el municipio j = (Hogares sin el servicio i en el municipio j) / (Total de hogares en el municipio j) * 100 * (Total de hogares en el municipio j) / (Total de hogares de la provincia)

o lo que es lo mismo:

Porcentaje ponderado de hogares sin el servicio i en el municipio j = (Hogares sin el servicio i en el municipio j) / (Total de hogares de la provincia) * 100

Donde:

$i \in \{\text{Agua por red, saneamiento cloacal por red}\}$
 $j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires)

A nivel provincial, el porcentaje de hogares que carecen de un servicio se calcula como la suma de los hogares de cada municipio que carecen del servicio, dividido por el total de hogares de la provincia, multiplicado por 100. Por lo tanto, la fórmula resultante es la siguiente:

$$\text{Porcentaje de hogares sin el servicio } i \text{ en la provincia} = \left(\sum_{j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}} \text{Hogares sin el servicio } i \text{ en el municipio } j \right) / \text{Total de hogares de la provincia} * 100$$

Para calcular el porcentaje provincial ponderado de hogares sin un determinado servicio se procede a calcular, para cada municipio, el porcentaje de hogares sin el servicio multiplicado por el número de hogares de ese municipio dividido el total de hogares de la provincia. Luego, el valor final del indicador, será la suma de los valores calculados para cada municipio. La fórmula, por lo tanto, tiene la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje provincial ponderado de hogares sin el servicio } i = \left(\sum_{j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}} \text{Porcentaje de hogares sin el servicio } i \text{ en el municipio } j * \text{Total de hogares del municipio } j \right) / \text{Total de hogares de la provincia}$$

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

El framework requiere, para poder usarlo, que se declararen en primer lugar todos los indicadores que formen parte del modelo a representar y luego todos los índices (en este caso no hay ninguno). Por cada indicador se debe especificar un nombre, un valor por defecto, la ubicación del script que calcula el valor del indicador, el valor máximo o mínimo admisible (threshold o umbral) y el resto de los atributos definidos en la clase Indicator (que se suman a los heredados de la clase Descriptor). Para representar el estado de los servicios de saneamiento en los municipios de la provincia de Buenos Aires fue necesario declarar los 4 indicadores siguientes:

- Porcentaje de hogares sin cobertura de agua potable por red.
- Porcentaje de hogares sin cobertura de saneamiento cloacal por red.
- Porcentaje de hogares sin servicio de agua potable por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia.
- Porcentaje de hogares sin servicio de saneamiento cloacal por red ponderado por el número

de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia.

Los 4 indicadores anteriores se declararon, usando la interfase gráfica del framework, con los siguientes nombres: CobApr, CobSCr, CobAprPonderado y CobSCrPonderado.

A modo de ejemplo, se muestra a continuación el código fuente generado automáticamente por el framework para el cálculo del indicador del porcentaje de hogares sin cobertura de agua potable por red.

```
CobApr=Indicator()
CobApr.setName("CobApr")
CobApr.setValue(0)
CobApr.setNormalizationMethod(LowIsBetterNormalizationMethod(0,100))
CobApr.setMinValue(0)
CobApr.setMaxValue(100)
CobApr.setThreshold(70)
CobApr.setUnit("%")
CobApr.setDescription("Porcentaje de hogares sin cobertura de agua potable por red")
CobApr.setPathNameOfTheFunctionThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("C:/Python25/proyecto/CobApr.py")
CobApr.setFunctionNameThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("cobApr")
self.dms.addDescriptor(CobApr)
```

Los 3 indicadores restantes se declaran de manera similar y, a medida que se van agregando, el código correspondiente se va añadiendo al final. Una vez declarados todos los indicadores e índices (en este caso hay sólo indicadores) se debe especificar si deseamos que el framework calcule el valor de los indicadores una vez o si se desea que trabaje en modo de monitoreo. El framework requiere que cada vez que se calcula el valor de

un indicador, dicho valor sea devuelto por medio de una función (script escrito en Python). Otras salidas, como la generación de mapas (si las hubiere), son opcionales.

Al ejecutar el framework una vez y pedirle que devuelva los mapas generados, los resultados que se obtuvieron fueron los que se observan en las figuras 2, 3, 4 y 5.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para cada servicio de saneamiento (agua por red y cloaca por red) considerado se construyó un mapa mostrando el porcentaje de carencia del servicio (figuras 2 y 3).

Se observa en las figuras 4 y 5 los resultados obtenidos al calcular el indicador ponderado para cada uno de los servicios (utilizando la fórmula 3). Las figuras 4 y 5 muestran, para cada servicio de saneamiento, los municipios más afectados considerando el número de hogares respecto del total de hogares de la provincia. Tales municipios son aquellos que tienen colores más oscuros. Por ser municipios con gran número de habitantes, su situación requiere especial atención pues la problemática está afectando a un importante porcentaje de la población de la provincia. Teniendo en cuenta que el total de hogares en el año 2001 fue de 3.917.739 (INDEC 2014a) y en el año 2010 fue de 4.789.484 (INDEC 2014b), los resultados obtenidos al analizar la carencia de los servicios analizados, son los siguientes:

El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin agua por red fue de 24,91% ($975.947 / 3.917.739 * 100$) en 2001 y de 24,91% ($1.192.897 / 4.789.484 * 100$) en 2010.

El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin cloaca por red fue de 49,71% ($1.947.681 / 3.917.739 * 100$) en 2001 y de 52,42% ($2.510.875 / 4.789.484 * 100$) en 2010.

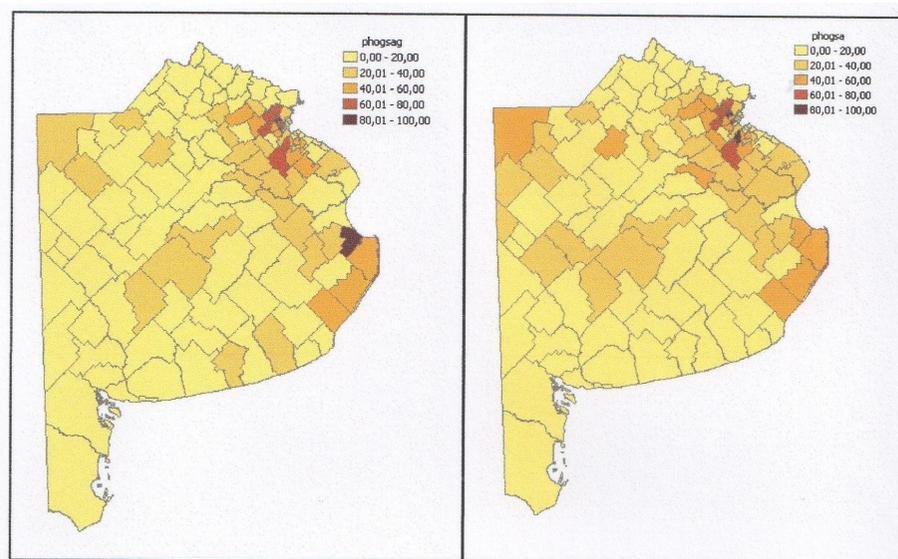


Figura 2 Mapa del porcentaje de hogares sin cobertura del servicio de agua potable por red en el año 2001 (izquierda) y 2010 (derecha). **Fuente:** elaboración propia a partir de datos del INDEC.

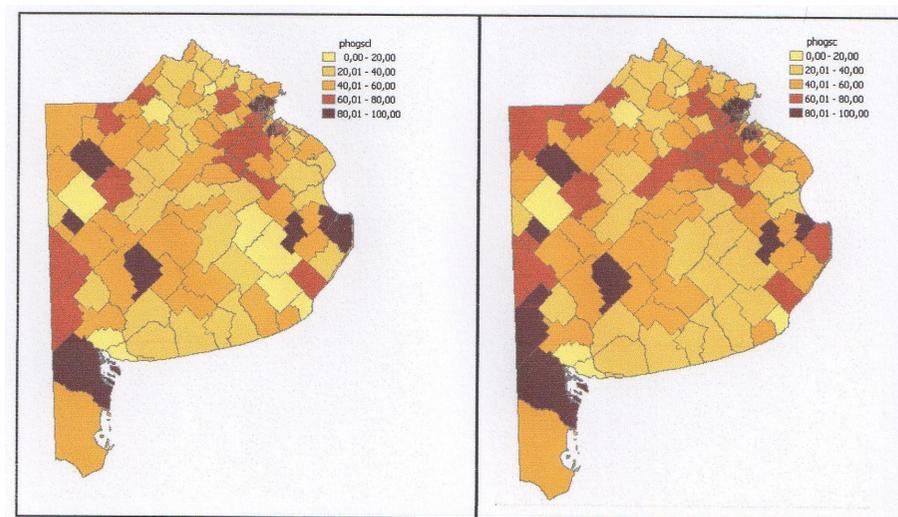


Figura 3 Mapa del porcentaje de hogares sin red de saneamiento cloacal en el año 2001 (izquierda) y 2010 (derecha). **Fuente:** elaboración propia a partir de datos del INDEC.

El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin agua ponderado fue del 24,96% en el 2001. El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin cloaca ponderado fue del 49,73% en el 2001.

El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin agua ponderado fue del 24,90% en el 2010. El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin cloaca ponderado fue del 52,63% en el 2010.

CONCLUSIONES

En cuanto a los resultados obtenidos, se puede observar que en ambos censos la falta de cobertura del servicio de agua por red fue de aproximadamente del 25%. Es decir, el crecimiento en el número de hogares (se sumaron 22,25% de nuevos hogares de un censo a otro) creció aproximadamente al mismo ritmo que la ampliación de la red del servicio (que sumó un 22,26% de nuevos hogares que cuentan con el servicio de un censo a otro).

El hecho de que casi un cuarto de la población de la provincia no tenga acceso al servicio de agua potable por red es una situación preocupante por ser el agua un recurso vital para la salud y la vida. Por otra parte, con respecto a la carencia en el servicio de saneamiento cloacal por red, la situación empeoró pasando de poco menos del 50% en el 2001 a más del 52% de hogares en el año 2010. Esto indica que el ritmo al que crece la construcción de nuevos hogares está superando el ritmo de ampliación de la red del servicio. De un censo a otro, el número de hogares que pasaron a contar con el servicio se incrementó en un 15,66%, cifra que se encuentra por debajo del número de nuevos hogares (22,25%).

Si observamos el porcentaje ponderado, la carencia más importante de falta de saneamiento cloacal por red se da en municipios del gran Buenos Aires que cuentan con un gran número de habitantes. Este hecho es también preocupante, y no

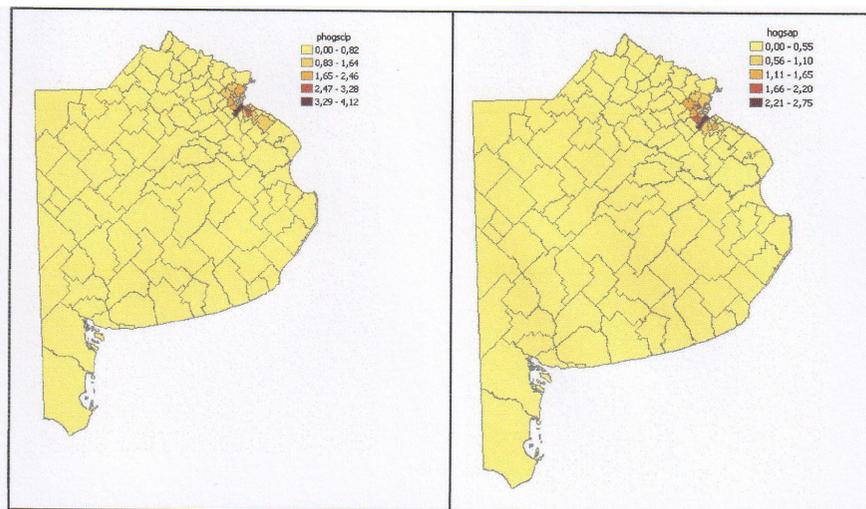


Figura 4 Mapa del porcentaje de hogares sin servicio de saneamiento cloacal por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia en el año 2001 (izquierda) y 2010 (derecha). **Fuente:** elaboración propia a partir de datos del INDEC.

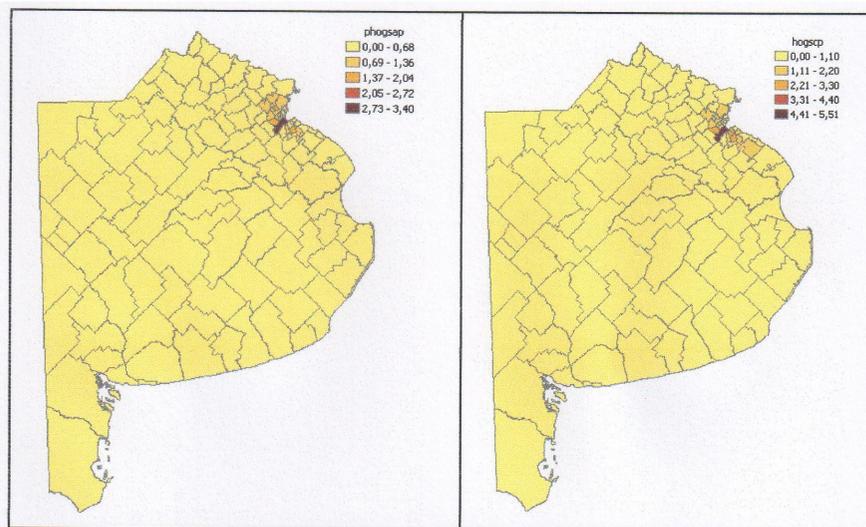


Figura 3 Mapa del porcentaje de hogares sin servicio de agua por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia en el año 2001 (izquierda) y 2010 (derecha). **Fuente:** elaboración propia a partir de datos del INDEC.

sólo afecta a la población que no cuenta con el servicio sino que, además, ocasiona otros perjuicios como es la posibilidad de contaminar aguas subterráneas y los impactos sistémicos asociados a este problema.

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

- Los resultados obtenidos acerca del grado de carencia en la cobertura de los servicios analizados en cada municipio permite alertar de manera temprana a los actores del estado 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 apoyo para la toma de decisiones en el ámbito municipal.
- Los resultados obtenidos con el índice ponderado reflejan la situación de cada municipio con respecto al total de la provincia sirviendo, así, como soporte para la toma de decisiones a nivel provincial.

El framework ha sido aplicado para el análisis de las coberturas de los servicios de saneamiento y puede ser aplicado también en cualquier otro dominio donde la representación de modelos basados en índices e indicadores cuantitativos sea una alternativa válida. Posee, además, las siguientes características:

- El desarrollo de una interfase gráfica para el framework contribuye a que pueda ser usado como una aplicación autónoma evitando tener que ingresar instrucciones por teclado. La interfase facilita la declaración de los índices e indicadores que componen el modelo a representar.

- Genera código de manera automática a medida que se van especificando los índices e indicadores del modelo a representar.

- Permite guardar el código fuente de un modelo en forma de script para su uso posterior, evitando la tarea de declarar el modelo cada vez que sea utilizado.

- La integración del framework a un 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.

Así, el framework desarrollado puede ser usado en la planificación urbana y regional y servir de ayuda como herramienta de soporte para la toma de decisiones a nivel municipal y/o provincial.

REFERENCIAS

- Barbero, D. Tesis doctoral: Modelo sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida. Facultad de Informática, UNLP. 2008.
- Gamma, E. Helm, R. Johnson, R. Vlissides, J. Design patterns: Elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley. 1995.
- INDEC. Censo 2001. URL: <http://www.indec.mecon.gov.ar/Webcenso/index.asp> Accedido: 29-5-2014. 2014a.
- INDEC. Censo 2010. URL: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/> Accedido: 29-5-2014. 2014b.
- Stelting, S. Maassen, O. Patrones de diseño aplicados a Java. Pearson-Prentice Hall. 2003.
- Barbero, D. A. Arteaga, A. San Juan, G. A. Software para el desarrollo de sistemas de soporte para la toma de decisiones en el ámbito urbano. 7mo Congreso de Medio Ambiente. Asociación de Universidades Grupo Montevideo. La Plata. 2012.