

Herramientas de georreferenciación para la sustentabilidad: El Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)

SALVADOR PENICHE CAMPS¹
MANUEL GUZMÁN ARROYO²

Resumen

El trabajo que se presenta tiene el objetivo de explicar los alcances de la herramienta de georreferenciación de cuencas (SIATL), que proporciona el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Palabras clave: Georreferenciación, cuencas, modelos

GEOREFERENCING TOOLS FOR SUSTAINABILITY:
SIMULATOR WATER FLOWS OF HYDROGRAPHIC BASINS

Abstract

This paper explains the scope and limitations of a georeferencing tool (SIATL), created by the National Institute of Geography and Statistics (INEGI).

Keywords: Georeferencing, basins, models

Clasificación JEL: Q25

Fecha de recepción: 29 de diciembre de 2015. Fecha de aceptación: 28 de febrero de 2016.

1. Departamento de Economía, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: peniche@hotmail.com
2. Director del Instituto de Limnología, Centro Universitario de Ciencias Biológico Agropecuarias. Correo electrónico: atherina06@yahoo.com.mx

Introducción

La situación del agua dulce, el deterioro de su calidad y el abatimiento de las reservas hídricas, figura entre los problemas más graves de la humanidad en la actualidad. La revista *Nature* lo ha situado como uno de los umbrales planetarios en riesgo. Si bien en la era preindustrial el consumo humano de este vital líquido apenas alcanzaba 415 km³ por año, en el 2009 fue de 2 600 km³; el límite natural propuesto por los científicos responsables del estudio es de 4 000 km³, el cual se acerca con gran velocidad, pues su situación depende de una serie de sinergias destructivas, como el calentamiento global, la pérdida de la biodiversidad y los cambios del uso de suelo, entre otros.

En México, la situación es preocupante. Según el estudio *Making water reform happen in Mexico* de la Organización para el Desarrollo y la Cooperación Económicos (OCDE, 2013), el país se encuentra bajo gran estrés hídrico y la situación será cada vez más apremiante. Se calcula que en los próximos 20 años, 36 millones de habitantes necesitarán servicios de agua potable y 40 millones, servicio de saneamiento. El diagnóstico es concluyente: el problema del agua se está constituyendo como uno de los grandes límites del desarrollo en nuestro país.

Ante tal situación, la investigación científica sobre los problemas del agua y el acceso a la información de calidad generada por las instituciones dedicadas a su gestión se vuelve una prioridad vital. Por ello, según las agencias internacionales de gestión del agua, la transferencia de información sobre la situación de las reservas del líquido se ha considerado como uno de los temas más relevantes de la actualidad y parte fundamental de la nueva gobernanza ambiental.

En su estudio sobre la gestión del agua, Rogers (2012), del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), enumera las características de un buen modelo institucional de acceso a la información para una gestión sustentable de los recursos hídricos. Dentro de las principales características, está el acceso expedito a la información de calidad a través de instrumentos de rigor científico.

Tal es la importancia del *Simulador de Flujos de Cuencas Hidrográficas* (SIATL) generado por el INEGI.

Antecedentes

El volumen, la calidad y el acceso a la información sobre la situación de los problemas ambientales han tenido una evolución notable en los últimos años. En particular, el entendimiento de los fenómenos relacionados con el agua y las sinergias que se establecen entre los procesos sociales, económicos y ambientales ha mejorado paralelamente con el desarrollo de los instrumentos cibernéticos, como los sistemas de información geográfica y los modelos dinámicos de modelación y simulación.

En tanto se le fue dando mayor importancia a las relaciones entre los fenómenos que caracterizan la realidad socioambiental, los instrumentos de acopio y de organización de información fueron obteniendo mayor reconocimiento en los medios científicos y gubernamentales, tal fue el caso de los primeros ejercicios serios de modelación

realizados por el Club de Roma, como el fundacional *World Dynamics*, de Jay Forrester, y años después, el cálculo de la *huella ecológica*, por William Rees and Mattis Wakernagel de la Universidad de la Columbia Británica (1990-1994).

En la actualidad, con la evolución de las potencialidades de la tecnología digital, la óptica, la satelital y la informática, se han podido integrar sistemas dinámicos que ofrecen una serie de ventajas tanto para el almacenamiento como para la presentación y distribución de información, se trata de sistemas integrados que permiten la generación de escenarios.

Paralelamente, de acuerdo con las necesidades de información y las demandas de los sectores sociales y gubernamentales dedicados a las tareas de planeación y monitoreo, el marco normativo ha evolucionado, propiciando con esto el desarrollo de los nuevos instrumentos de generación, manejo y oferta de información, por ejemplo, la *Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica* (LSNIEG) de abril de 2008, la cual constituye el contexto legal propicio para el acopio, manejo y distribución de información en las nuevas condiciones tecnológicas y ambientales de la actualidad.

El resultado y el potencial del nuevo contexto técnico institucional para el acceso a información de calidad sobre el problema del agua y el medio social y biofísico que la rodean son significativos. Como ejemplo, podemos mencionar la dificultad que significaba en el pasado el reunir de manera sistematizada y rigurosa la información sobre una de las cuencas de México. En el caso ejemplar de la cuenca del río Lerma, podemos encontrar referencias en instancias como los archivos de la Comisión del Río Lerma (CRL), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Centro de Información sobre la Cuenca Lerma-Chapala, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Rural del Instituto Politécnico Nacional (CIDIR-IPN), El Colegio de San Luis, el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social y la Universidad de Guadalajara, por mencionar algunos de los más importantes. En ellos se concentran información documental, cartográfica, descriptiva, biofísica y social sobre la situación del agua y sus contextos sociales y económicos (Guzmán *et al.* 2002). La dispersión de los centros donde se localizan los estudios de la cuenca y la disparidad en los instrumentos de almacenamiento y manejo de las bases de datos constituían obstáculos, frecuentemente infranqueables para la investigación.

Bajo el esquema *compartamentalizado* y de acceso restringido, el conocimiento de los problemas de la cuenca Lerma es un proceso tortuoso; sin embargo, las herramientas cibernéticas de generación de escenarios y prospectivas con las que se cuenta en la actualidad permiten abordar con rigor los elementos que generan las sinergias entre los imperativos sociales, ambientales y económicos. Así, por ejemplo, para abordar la condición de *ecoescasez diversificada* que describe Torres (2006) —es decir, la construcción social de condiciones de insustentabilidad caracterizada por la escasez estructural del agua, la tendencia inercial hacia la desaparición de los lagos, el factor poblacional, el daño a la cubierta forestal y el agotamiento de la frontera agrícola—, los sistemas dinámicos de información geográfica y los modelos de generación de escenarios constituyen formidables instrumentos que potencian el alcance del proyecto.

Bases de datos y productos

El SIATL es un instrumento de información estadística georreferenciada de última generación. Es una poderosa herramienta para la investigación y el diseño de políticas públicas enfocado en la situación hídrica que caracteriza al territorio nacional. Quizá, el elemento más innovador del *Simulador* consiste en posicionar a la cuenca y la salud de los ecosistemas, como columna vertebral del análisis y de la construcción de las condiciones de sustentabilidad.

El SIATL es una integración de diversos elementos de información geográfica y estadística, unificados en modelos que se sitúan en cuencas hidrográficas. Se basa en una robusta plataforma de mapas complementada con capas de información proveniente de las *redes hidrográficas*, que son modelos de datos hidrológicos y de escurrimientos y son en sí sistemas de información geográfica sobre la dinámica de las cuencas hidrográficas.

Los modelos emanados de la integración de la base cartográfica y las redes hidrográficas constituyen unidades de estudio que expresan la dinámica de las diversas cuencas hidrográficas del país por medio de programas computacionales especializados. Estos programas presentan de manera digital la situación de las cuencas incorporando información ambiental georreferenciada con respecto a las poblaciones y la división política de cada cuenca. De esta manera, el *Simulador* reproduce la dinámica hídrica por medio de la construcción de escenarios sistémicos.

Aunque el objetivo expresado en el protocolo oficial del SIATL consiste en "... contribuir a mejorar y difundir el conocimiento sobre la distribución espacial y el comportamiento del agua superficial..." la potencialidad del instrumento no se circunscribe a "...generar conciencia e interés sobre la situación del agua, sobre los temas del manejo y planeación del recurso hídrico y la prevención de desastres..."³ Los datos emanados del SIATL comprenden capas georreferenciadas de información hidrológica, geológica y ambiental con las que se pueden entender las sinergias entre los diversos fenómenos que caracterizan el estado de los ecosistemas en general. Los datos originados en las bases de datos sectoriales provenientes de las diversas instituciones gubernamentales y del INEGI permiten un nivel de detalle pormenorizado. Con el modelo es posible, por ejemplo, conocer los datos sobre los flujos, escurrimientos, filtraciones, temperaturas caudales de ríos, poblaciones y áreas de influencia de un sistema hidrológico y sobre su salud ambiental.

En el futuro, el siguiente paso en la integración de un modelo de generación de escenarios para la sustentabilidad deberá incluir capas de información social y económica y la generación de escenarios dinámicos que permitan conocer las probables tenencias y las consecuencias de las decisiones en materia de políticas de desarrollo. Lo anterior representa un importante reto para el futuro de la informática en nuestro país.

Se pueden identificar cuatro formas de uso del SIATL: la *participación pública*, el *análisis y desarrollo de estrategias*, el *desarrollo profesional* y la *educación*.

3. Tomado de la página web del SIATL: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/

En su utilización para la *participación pública*, el modelo tiene el poder de recolectar información detallada sobre valores públicos, decisiones estratégicas informadas y sus correspondientes compromisos, así como comunicación con el público sobre las implicaciones a largo plazo de las decisiones políticas. Las agencias públicas, los partidos políticos y las organizaciones no gubernamentales con fuertes intereses en el debate y en la participación pública son excelentes candidatos para su uso.

En lo concerniente al *análisis y desarrollo de estrategias*, el modelo se caracteriza por su diseño accesible e integrado. Esto le permite ser usado para la evaluación de estrategias y el análisis integrado.

En el *desarrollo profesional*, la herramienta puede ser considerada como un medio para la lluvia de ideas destinadas a los profesionales involucrados con procesos estratégicos de decisión donde los factores económicos, sociales y ambientales de largo plazo necesitan ser considerados seriamente. Los candidatos potenciales para este uso incluyen a los sectores privado y público con agendas de desarrollo sustentable.

En el caso de la *educación*, el modelo puede ser utilizado en los salones de clase, de secundaria a universidad, para la implementación de ejercicios de aprendizaje grupal o individual sobre la situación de las cuencas. El SIATL expresa de manera clara y rigurosa la naturaleza holística del ciclo hídrico.

La elaboración de modelos de generación de escenarios ecosistémicos ha tenido un auge reciente. Estos sistemas son empleados para el cálculo de flujos de materiales y de energía (*Wuppertal Institut*, s.f.), para el cálculo de riesgos y de la huella ecológica (*Global Footprint Network*, s.f.). También, son utilizados para la planeación regional y la modelación de contingencias ambientales, como los impactos del cambio climático.

Uno de los ejemplos más interesantes lo constituye el sistema de modelación del Distrito de Administración de Agua del Sur de la Florida,⁴ el cual permite medir la cantidad de agua que contienen las tormentas, el curso de los escurrimientos, las probables zonas de inundación y la estrategia de desfogue en el sistema de esclusas en la Ciénaga de los Everglades. La importancia de este instrumento es inconmensurable para la población y la economía del estado ya que, en nuestra época de cambio climático y de calentamiento de los océanos, la fuerza de los huracanes se ha incrementado de manera importante y las consecuencias de la incertidumbre pueden ser fatales.

Posibles usos de los datos del SIATL

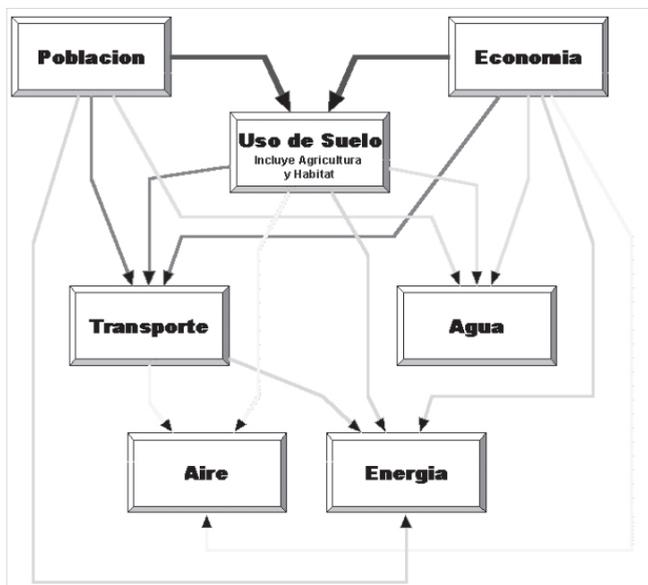
Pueden ser muy variados. La información sobre flujos y vertientes es de primera necesidad informática para el sector agrícola y para las estrategias de los organismos urbanos operadores de agua. De igual manera, el monitoreo de la contaminación de ríos y cuerpos de agua tiene relevancia para los tres sectores de la economía. Además, la información georreferenciada que contiene el modelo es útil para calcular amenazas o riesgos relacionados con los ciclos hídricos y con meteoros o tormentas.

4. *South Florida Water Management District*, s.f.

Se sabe que la crisis del cambio climático es fundamentalmente un problema del agua. Esto es así pues la temperatura determina la naturaleza del ciclo hídrico y la dinámica de los flujos en los sistemas de las cuencas. Por ello, la información del SIATL resulta fundamental para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación al calentamiento global. Como ejemplo, podemos mencionar el estudio sobre los impactos ambientales del cambio climático en México elaborado por el doctor Miguel Galindo (2010), de la UNAM, para el gobierno federal (ver figura 1).

En su análisis sobre los impactos del cambio climático en la agricultura, el investigador utiliza el modelo de función de la producción, el cual incluye mano de obra, capital, semillas, fertilizantes y otros insumos, así como el desempeño climático y la cuota de agua por riego.

Figura 1
Modelo de cálculo de impactos del cambio climático



Fuente: elaboración propia.

Con los datos del SIATL, se puede realizar este cálculo a escala de cuenca, y aún de microcuenca, estableciendo los riesgos y el futuro probable de la economía. En particular, es posible estimar si los riesgos esperados desde la perspectiva teórica pueden convertirse en realidad en cada cuenca del país. El modelo del cálculo del cambio climático del doctor Galindo establece que los impactos en la agricultura son heterogéneos, pero que a la larga significarán un deterioro de los rendimientos y que se pueden mitigar con un mayor volumen de agua.

En la cuenca del río Santiago, el modelo puede tener importantes aplicaciones que expresan, en la práctica, el enfoque multidisciplinario de la investigación de punta en materia de desarrollo sustentable. Su objetivo consiste en potenciar los esfuerzos de la investigación sectorial, beneficiando de manera directa a todos los actores sociales y productivos. Los estudiosos de cada uno de los problemas de la sustentabilidad tienen la posibilidad de ver los resultados de un esfuerzo común para alcanzar metas regionales de desarrollo desde la perspectiva de la situación de las reservas de agua. Con el modelo, las autoridades, los investigadores y la comunidad cuentan con un instrumento que les permite cruzar las tendencias de la interacción de sus propuestas y elaborar escenarios holísticos para comprobar sus hipótesis.

La cuenca del río Santiago presenta características únicas que la convierten en un caso polémico y desafiante para la planeación del desarrollo. Las tendencias de concentración demográfica en la Zona Metropolitana de Guadalajara y la acelerada urbanización en la región forman un escenario preocupante de deterioro ambiental y de disminución gradual de la calidad de vida de sus habitantes para los próximos años. Desde una perspectiva ecológica, los conflictos relacionados con la disponibilidad del agua y del uso de la tierra ilustran el tipo de problemas ambientales que enfrentan las grandes concentraciones urbanas del mundo.

De forma paralela, el mecanismo con el que se toman las decisiones estratégicas parece estar cambiando. La nueva gobernanza del agua, sistema político cambiante, trae consigo un aumento de las expectativas de participación pública en la toma de decisiones. Ciertamente, a escala mundial aumentan los reclamos sobre el aumento de las oportunidades de participación ciudadana en los procesos de toma de decisión. Además, la creciente atención internacional centrada en la sustentabilidad alienta las esperanzas para que las consecuencias a largo plazo de las actividades humanas sean consideradas y estudiadas desde un punto de vista holístico, general y amplio.

Por ello, y por las implicaciones que esto tiene para el país, la planeación de desarrollo de la cuenca del río Santiago es un asunto de gran importancia. La experiencia adquirida ha evidenciado la necesidad de abordar el problema ambiental desde la perspectiva de la sustentabilidad regional, partiendo de un enfoque sistémico del desarrollo que incorpore, en un esquema integral y dinámico, las variables económicas, sociales y ambientales. En este sentido, en tiempos recientes se ha puesto especial interés en la implementación de instrumentos para la aplicación de políticas públicas que atiendan particularmente la relación del desarrollo regional, el medioambiente y la situación del agua.

En consistencia con dichos planteamientos, resulta muy útil el desarrollo de una herramienta innovadora, como el SIATL, para avanzar en la comprensión del fenómeno de sustentabilidad regional.

El enfoque del modelo pretende, antes que nada, la creación de una herramienta de trabajo y discusión. Se trata de un instrumento didáctico y de planeación que, de manera sencilla, permite visualizar geográficamente los efectos de un cierto paquete de políticas hídricas. A través del modelo, los usuarios exploran diferentes escenarios y sus condiciones ambientales. Una característica esencial del diseño del modelo resi-

de en que es de uso interactivo y divertido, dirigido a los expertos y no expertos, tanto para los estudiantes universitarios como para quienes toman las decisiones.

El propósito del enfoque del modelo es impulsar la reflexión sobre la sustentabilidad hídrica en un contexto regional. El enfoque del modelo parte de una concepción holística, la cual considera que es necesario identificar los riesgos de los sistemas de soporte de vida en una región determinada e integrar a este imperativo ecológico los imperativos económicos y sociales.

Conclusiones

El *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas* es un sistema de información cartográfica y estadística georreferenciada de última generación. La integración e interacción de los niveles de información que proporciona permite tener un instrumento unificado que reúne elementos que facilitan la elaboración de simulaciones con el objetivo de entender la dinámica de los ciclos de agua en sus sinergias con procesos ambientales.

La utilidad de esta herramienta es muy amplia, puede proporcionar elementos para el estudio de los procesos ambientales, el deterioro de las reservas de agua, los riesgos de la contaminación y agotamiento de los mantos freáticos y de los fenómenos climáticos extremos. Además, el SIATL proporciona información para diseñar estrategias de desarrollo sustentable y de modelación de futuros derivados de las decisiones en materia de política pública.

El *Simulador* constituye una excelente herramienta de auxilio y complementación en los procesos de investigación destinados a los proyectos de tesis de grado y posgrado en temas como economía del agua, análisis costo-beneficio, manifestación de impacto ambiental y políticas de desarrollo, entre otros. Algunos temas sugeridos para la utilización de la herramienta en investigación de tesis podrían ser estudios de tarificación de aguas urbanas y de irrigación, los costos económicos de la contaminación, los impactos del cambio climático y estudios de hidrología y limnología, entre otras.

Referencias bibliográficas

- Galindo, L. *La economía del cambio climático en México*. México, SEMARNAT, 2010.
- Global Footprint Network. *Metodología y fuentes*. s.f. Obtenido de <http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/methodology/>
- Guzmán Arroyo, M., S. Peniche Camps, J. Valdés Zepeda y O. Pérez Peña. "El saber de la cuenca Lerma Chapala en la perspectiva de sus fuentes de información", en: Schoendube, B., J. Durán Juárez y M. Sánchez Rodríguez (edits.). *Los estudios del agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago III*. México, El Colegio de Michoacán, 2002, pp. 609-634.
- OCDE. *Making Water Reform Happen In Mexico*. México, OCDE, 2013.
- Rogers, P. *Water Governance In Latin America And The Caribbean*. EE.UU, BID, 2002.

- Rokström, J. “A Safe Operating Space For Humanity”, en: *Nature* (461), 24 de septiembre de 2009, pp. 472-475, doi:10.1038/461472a.
- South Florida Water Management District. *Modeling*. s.f. Obtenido de <http://www.sfwmd.gov/portal/page/portal/xweb%20-%20release%202/modeling>
- Torres, G. “La condición de ecoescasez y la política ecológica del Estado mexicano en la cuenca Lerma Chapala Santiago”, en: Durán Juárez, J., B. Schoendube y M. Sánchez Rodríguez (edits.), *Los estudios del agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago II*. México, El Colegio de Michoacán, 2006.
- Wuppertal Institut. *Home*. s.f. Obtenido de <http://wupperinst.org/home/>