

## Simulación numérica de vertimientos en suelos: Perspectivas en el contexto colombiano

Ivonne Marcela Rodríguez Sánchez, Fabio Orlando Mayorga Munar<sup>1</sup>

### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo primordial establecer los lineamientos básicos para una regulación de vertimientos en Colombia mas adecuada. A partir de una revisión de la regulación existente, se evidencia que ésta no cuenta con los mecanismos suficientes para garantizar la sostenibilidad ambiental de las actividades económicas. Para contribuir a la solución de esta problemática, se plantea una metodología básica para caracterizar de manera mas adecuada los impactos negativos de los vertimientos sobre la calidad del recurso hídrico. En particular, se introduce una herramienta que permite analizar diferentes escenarios de contaminación a través del uso de modelos computacionales que permiten desarrollar la simulación numérica de vertimientos a suelos. **Palabras claves:** simulación numérica, vertimiento, contaminación, legislación.

### Abstract

This work aims to develop basic strategies to strength dumping regulation in Colombia. From a comprehensive review, we have realized that Colombian legislation lacks of mechanisms to quantitatively characterize the effect of economic activities on the environment. To contribute towards a solution of this problem we propose a methodology that allows us to simulate different scenarios ba-

sed on the use of physics-based models. The ultimate goal of this effort is to contribute in the construction of an adequate regulation that allows us to guarantee the sustainability of the economical activities.

**Keywords:** numerical modeling, dumping, pollution, legislation

### Introducción

A medida que se dio el crecimiento de país y el fortalecimiento de las actividades económicas, como son la agricultura y la industria, surgieron una serie de problemas a nivel ambiental que se presentan cada día con mayor frecuencia y severidad. Toda esta problemática ambiental es causada por acciones generadas consciente (manejo inadecuado de residuos) o inconscientemente (accidentes inesperados) por las industrias, generando en muchos casos una gran contaminación en los diferentes componentes ambientales, donde los receptores finales son el suelo y los cuerpos hídricos superficiales y subsuperficiales. En la tabla 1 se mencionaran algunos casos puntuales de vertimientos alevosos importantes en suelos colombianos. En este trabajo se plantea el uso de modelos numéricos para determinar cuantitativamente el efecto de los vertimientos en suelos, así como para diseñar estrategias de mitigación de estos efectos a través de la simulación de escenarios.

Tabla 1. Inventario de casos de vertimientos en suelos colombianos

| LOCALIZACION         | ACTIVIDAD           | CONTAMINANTE        | AFECTACION              |
|----------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Uraba antioqueño     | Agricultura         | Agro-Químico        | Suelos y cuerpo hídrico |
| Ronda Rio Tunjuelito | Industria           | Residuos Peligrosos | Suelos y cuerpo hídrico |
| Ventaquemada, Boyacá | Transporte Químicos | Acido Sulfúrico     | Cuerpo hídrico          |
| Chinacota            | Petrolera           | Crudo               | Cuerpo hídrico          |
| Ronda Rio Torca      | Petrolera           | Crudo               |                         |

### Marco conceptual

Los modelos de simulación numérica son representaciones simplificadas de la realidad de tal manera que permiten a través de la reproducción de variables de interés, responder preguntas sobre las dinámicas de un sistema. Estos modelos, son expresados como algoritmos numéricos, donde una vez creados, desarrollados y calibrados, permiten someter el sistema a diversas condiciones ambientales, permitiendo estimar el comportamiento del sistema ante situaciones diversas (escenarios), inclusive escenarios que se alejan de sus condiciones más usuales (Sanint, 2004).

Con el fin de lograr el objetivo propuesto se plantea la construcción de un modelo basado en la física ya que este constituye un méto-

do efectivo para predecir el comportamiento de diversos sistemas (Leyva Suárez, 2010). El modelo propuesto es capaz de simular el movimiento del agua en la superficie y la sub-superficie (tanto en la zona saturada como en la zona no saturada), así como el transporte de contaminantes. En el modelo propuesto se tienen en cuenta diferentes tipos de procesos físico-químicos que incluyen advección, difusión, dispersión, y reacciones químicas.

Para la simulación de estos procesos es necesario seguir un protocolo de modelación, el cual incluye una serie de pasos como se puede observar en la Figura 1, con el fin de convertirlo en un proceso lógico y ordenado, el cual está encaminado a la obtención de un resultado, el cual sería un modelo de simulación

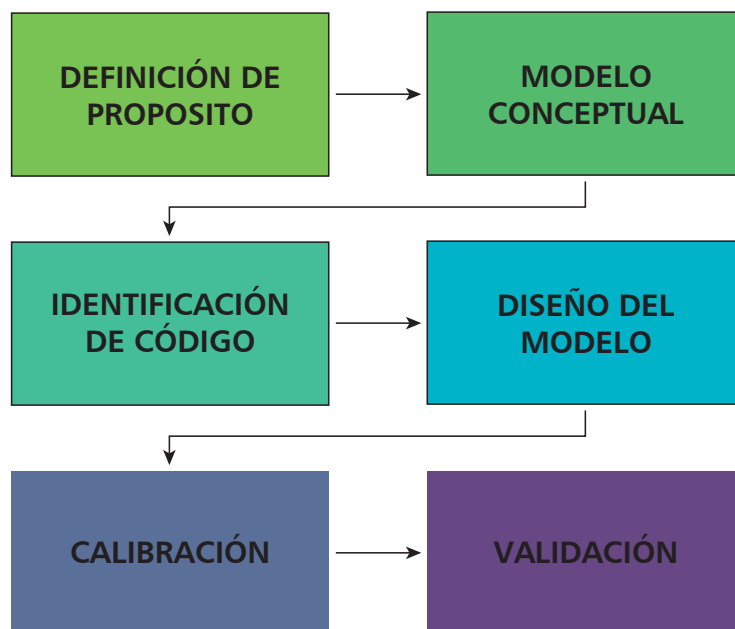


Figura 1. Protocolo de modelación

para vertimientos, que cumpla con las condiciones y parámetros establecidos.

### *Simulación de vertimientos*

Para demostrar la utilidad del protocolo propuesto se simularon casos sintéticos de vertimientos asociados a diferentes tipos de suelos. En la Figura 1, se presentan los resultados de la simulación para los casos de estudio escogidos generados usando el modelo numérico siguiendo el protocolo propuesto. Estos casos corresponden a dos tipos de materiales diferentes (arcilla y arena) y para un nivel freático

localizado a 5 metros del fondo. Para este caso se definió un flujo constante en dirección izquierda-derecha.

Para el caso del suelo arcilloso se observa que el mecanismo predominante por el cual se mueven los contaminantes es la difusión/dispersión, ya que existe una baja velocidad del movimiento de fluido. En contraste para el caso del suelo arenoso se observa que el mecanismo predominante es la advección ya que tiene una mayor conductividad hidráulica y por tanto velocidades mayores.

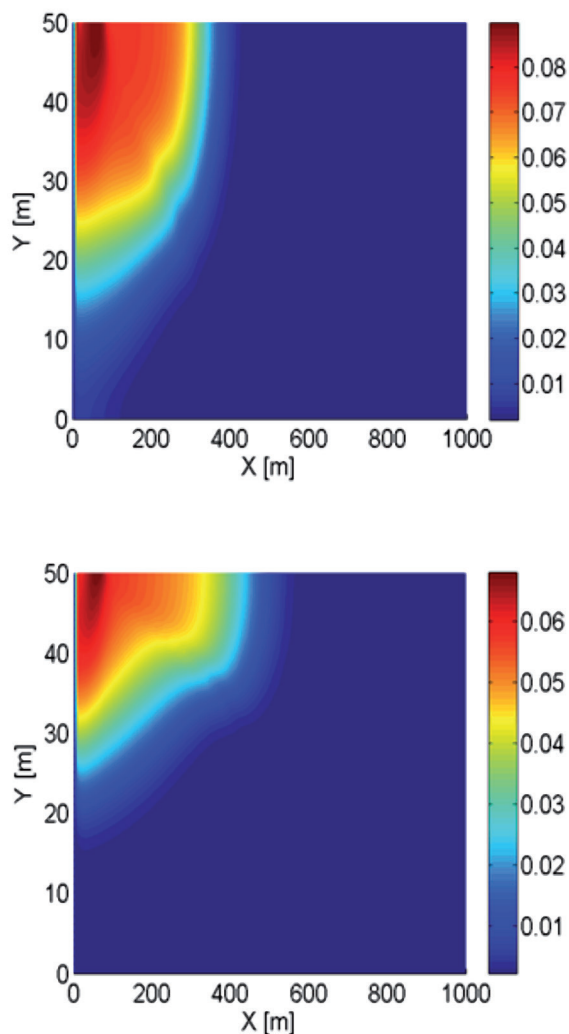


Figura 2. Simulación de vertimientos en suelo arcilloso (izquierda) y arenoso (derecha)

### *Conclusiones y recomendaciones*

En este trabajo se desarrolló un protocolo de modelación que constituye una metodología novedosa que servirá para definir los requerimientos de información del área de estudio para el caso de vertimientos, adicionalmente representa un buen punto de partida para el desarrollo de futuros estudios de contaminación en suelos en el contexto colombiano.

En el contexto colombiano el uso de modelos numéricos basados en la física para simular vertimientos en suelos representa una herramienta relativamente nueva, estos tienen un gran potencial para fortalecer la gestión ambiental de vertimientos tanto en fuente hídricas como en suelos. Además, esta herramienta permitirá analizar la relación costo-beneficio del vertimiento introduciendo la variable de mitigación del impacto, que hasta el momento no había sido tomada en cuenta en la ecuación.

En ese sentido, los modelos numéricos representan un importante instrumento para fortalecer la regulación de vertimientos líquidos y como herramienta de protección ambiental.

En futuros estudios se pretende incorporar la heterogeneidad y anisotropía del suelo en las



consideraciones para realizar la simulación. Adicionalmente, se analizarán estrategias como pozos de extracción y su efectividad como medida de mitigación de la contaminación.

### *Bibliografía*

Betancur Hernández, A. M., Gutierrez Hernández, G., & Miranda Rodríguez, D. (2003). ACOPLAN ST - Solucion total como propuesta de estructuracion del plan informatico del “plan nacional de contingencia contra derrames dehidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres –pnc”. x conferencia latinoamericana de usuarios sig , (p. 14). SANTA CRUZ - BOLIVIA.

Dominguez Calle, E. A. (2010). [www.mathmodelling.org](http://www.mathmodelling.org). Recuperado el 20 de Abril de 2012, de <http://www.mathmodelling.org/home/notasdeclase>

Fernández Mejuto, M., Vela Mayorga, A., & Castaño Fernández, S. (2009). Universidad Castilla La Mancha. Recuperado el 9 de Marzo de 2012, de [http://www.uclm.es/ab/educacion/ensayos/pdf/revista12/12\\_21.pdf](http://www.uclm.es/ab/educacion/ensayos/pdf/revista12/12_21.pdf)

IDEAM. (2003). Guía para el monitoreo de vertimientos en aguas superficiales y subterráneas . Bogotá: IDEAM.

Instituto Nacional de Ecología. (2007). Recuperado el 20 de Abril de 2012, de <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/345/restaura.html>

Leyva Suárez, E. (2010). Universidad Nacional Autónoma de Mexico. Recuperado el 9 de Marzo de 2012, de <http://mmc.geofisica.unam.mx/mmc/tesis/EstherLeyva/EstherTesis-II.pdf>

Sanint, E. A. (2004). Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales.

Van Genuchten, R. (12 de Marzo de 1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated. USA: USDA (United States Department of Agriculture).