



Asociación de Universidades  
GRUPO MONTEVIDEO

25 SET  
al  
27 2019  
Montevideo



II CONGRESO DE AGUA  
AMBIENTE Y ENERGÍA  
AUGM



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Modelación con SWAT en la cuenca del Santa Lucía: un ejemplo exitoso de trabajo Interinstitucional e Interdisciplinario para la gestión de los Recursos Hídricos en Uruguay

Florencia Hastings<sup>a</sup>, Flora Mer<sup>b</sup>, Jimena Alonso<sup>c</sup>, Rafael Navas<sup>d</sup>, Pablo Kok<sup>e</sup>, Pablo Pereyra<sup>e</sup>, Luciana Badano<sup>e</sup>, Natalia Neighbor<sup>e</sup>, Alberto Baccino<sup>f</sup>, Fernando Diaz<sup>f</sup>, Walter Baethgen<sup>b</sup>, R. Willem Vervoort<sup>g</sup>

<sup>a</sup> *Dirección General de Recursos Naturales, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay, fhastings@mgap.gub.uy*

<sup>b</sup> *International Research Institute for Climate and Society, Earth Institute, Columbia University, Estados Unidos.*

<sup>c</sup> *Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.*

<sup>d</sup> *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.*

<sup>e</sup> *Dirección Nacional de Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay.*

<sup>f</sup> *Dirección Nacional de Aguas, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay.*

<sup>g</sup> *Sydney Institute of Agriculture, School of Life and Environmental Sciences, The University of Sydney, NSW, Australia.*

**RESUMEN:** Se presenta el proceso de trabajo interinstitucional y multidisciplinario para el desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la gestión y conservación de los recursos hídricos en una subcuenca del Río Santa Lucía. Dicho proceso consistió en: conformación del grupo de trabajo, capacitación, consulta con expertos, preparación y recopilación de información de diferentes fuentes, definición de escenarios, creación de un espacio de trabajo y discusión científica. Entre las fortalezas desarrolladas durante este proceso se destacan: el establecimiento de un ámbito de interacción y trabajo conjunto entre instituciones gubernamentales y centros de investigación y la formación de un grupo de técnicos de instituciones nacionales capacitados para utilizar el modelo e implementarlo en nuevas cuencas. La implementación del modelo hidrológico SWAT sirve como primer paso hacia una herramienta de gestión que permitirá diseñar políticas de gestión del agua, alineadas en torno al uso de suelo, para lograr los objetivos de calidad deseados.

**PALABRAS CLAVE:** Trabajo Interinstitucional, Cuenca Río Santa Lucía, Gestión de Recursos Hídricos, SWAT.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del aumento de la producción y la productividad agropecuaria junto con la mayor generación de efluentes urbanos han comenzado a reflejarse en la afectación de la calidad de los recursos hídricos del Uruguay, siendo la cuenca del Río Santa Lucía la que mayor atención ha centralizado dada su importancia estratégica para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de

Montevideo y zona metropolitana. Varias acciones de política pública se han ocupado de este tema, entre las que se destaca, el monitoreo sistemático de calidad de agua en la cuenca del Río Santa Lucía iniciado con la cooperación técnica del Gobierno del Japón, con el desarrollo del estudio a cargo de JICA llamado “Proyecto sobre el Fortalecimiento de la Gestión de la Calidad del Agua en Montevideo y su Área Metropolitana” que se extendió luego con el Proyecto sobre control de contaminación y gestión de la calidad de agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Luego de finalizados estos esfuerzos, el monitoreo fue incorporado a las actividades de rutina de DINAMA-MVOTMA. En mayo de 2013, se presentó el Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de Agua potable en la Cuenca del Río Santa Lucía [3]. El objetivo fue formular y ejecutar acciones que permitan controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad de agua en la cuenca Hidrográfica del Río Santa Lucía, focalizando la atención en el control de nutrientes. Se destaca la necesidad de mejorar el conocimiento y las capacidades predictivas, utilizando herramientas como el SWAT para abordar la planificación de la cuenca de forma objetiva. En el año 2017 se aprueba el Plan Nacional de Aguas [4]. Es un instrumento Técnico-Político para la planificación y gestión de las aguas que considera los diversos usos del recurso. Dentro de las acciones propuestas para la gestión integrada de los Recursos Hídricos está el desarrollo de un Modelo de Calidad de las aguas. En diciembre 2018 se aprobó el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental de la Cuenca del Río Santa Lucía, Medidas de Segunda Generación” [5], que integra ajustes a las medidas del Plan del año 2013.

Con el fin de lograr una sinergia entre los mencionados Planes y diversos proyectos de investigación y en un marco de colaboración entre instituciones relacionadas con la gestión e investigación en recursos hídricos, se desarrolla el proyecto “Uso del modelo SWAT para planificar la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Río Santa Lucía, Uruguay - Proyecto piloto, cuenca del Río Santa Lucía entre nacientes y Río Santa Lucía Chico”. Forman parte de la ejecución del mismo: la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y la Dirección Nacional del Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), la Dirección General de Recursos Naturales del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (DGRN-MGAP), el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Fing-UdelaR), el International Research Institute for Climate and Society (IRI) de la Columbia University y The University of Sydney.

El modelo SWAT (Soil & Water. Assessment Tool) [1], es un modelo hidrológico espacialmente semi-distribuido de paso diario, muy bien documentado y con una gran comunidad de usuarios, que ha probado ser una herramienta efectiva de evaluación de recursos hídricos y contaminación difusa para distintas escalas espaciales y condiciones ambientales en todo el mundo. Por estas razones, además de la experiencia previa de varios participantes, fue seleccionado como la herramienta de modelación para este Proyecto.

Abordar un trabajo como este en forma interdisciplinaria, genera sin duda una comprensión más profunda de los fenómenos involucrados, sin embargo, el transitar este proceso colectivo no estuvo exento de dificultades o desafíos. Uno de ellos es el conflicto de intereses entre las partes, que mayormente es problema recurrente en la política del agua. Es sabido que existe una necesidad de describir cómo los equipos interdisciplinarios pueden trabajar juntos en los proyectos de modelos de gestión integrada de recursos hídricos para negociar sus diferencias y lograr una comprensión integrada del problema, igualmente se conoce que con interacciones semanales y discusiones se puede encontrar puntos comunes para llegar a soluciones consensuadas [2]. Otro desafío que se identifica, es la transferencia tecnológica, en donde es esencial documentar sistemáticamente y con suficiente detalle para que la experiencia pueda replicarse en el futuro [2].

Se presenta aquí el proceso de trabajo interinstitucional para el desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la gestión y conservación de los recursos hídricos en la

cuenca del Santa Lucía. Dicho proceso consistió en: conformación del grupo de trabajo, capacitación, consulta con expertos, preparación y recopilación de información de diferentes fuentes, implementación del modelo, creación de un espacio de trabajo y discusión científica.

## 2 CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO Y CAPACITACIÓN

En el marco del proyecto INIA FPTA 341 “Contribución del IRI a la gestión de riesgos asociados al clima en el sector agropecuario del Cono Sur”, en junio de 2015 se realizó el Taller “Necesidades de Investigación en Recursos Hídricos”, donde se discutieron: las necesidades de información que tiene el sector de políticas públicas en el tema “Agua”, y los trabajos de investigación que llevaban en ese entonces el sector académico y las instituciones de investigación de Uruguay. El resultado del taller fue muy claro y unánime, se identificó una demanda de apoyo para la planificación del uso del agua a nivel de cuencas, basado en modelos que permitan apoyar la toma de decisiones. Se concluyó que la necesidad primordial de las instituciones presentes en cuanto a la investigación en Recursos Hídricos es desarrollar en Uruguay capacidades para usar, calibrar y evaluar modelos hidrológicos, que permitan apoyar la planificación y toma de decisiones en recursos hídricos.

Posteriormente en el año 2017 y en el marco de una asistencia técnica del Banco Mundial sobre Crecimiento Verde se conformó un grupo interinstitucional que tenía el objetivo trabajar en modelación de cantidad y calidad de agua en la cuenca del río Santa Lucía. Dentro de los objetivos específicos se planteaba “Coordinar y vincular las iniciativas de desarrollo de herramientas de modelación para la gestión de la cantidad y calidad de agua que se desarrollen en las instituciones participantes del grupo y en instituciones que trabajen la temática”.

Dadas estas dos iniciativas con un objetivo común se eligió formar un solo grupo técnico interinstitucional e interdisciplinario para trabajar en un proyecto piloto aplicando el modelo SWAT a una subcuenca del río Santa Lucía. El grupo ha adoptado una metodología de trabajo en la que se hace reuniones semanales rotativas en las diferentes sedes de las instituciones que integran el proyecto. Igualmente, se documenta y comparte toda la información utilizando herramientas web de almacenamiento [2].

Con el objetivo de generar una masa crítica de técnicos capacitados en el modelo SWAT, se organizaron dos seminarios, un taller y un curso de actualización profesional y postgrado centrados en la modelación de procesos hidrológicos. A estas instancias de capacitación participaron los integrantes del grupo, técnicos de otras instituciones y estudiantes de posgrado, entre los años 2015 a 2018.

## 3 PROYECTO PILOTO: USO DEL MODELO SWAT PARA PLANIFICAR LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA

Como proyecto piloto para para el uso de SWAT, se seleccionó la subcuenca del Río Santa Lucía entre nacientes y Río Santa Lucía Chico (extensión de 4900 km<sup>2</sup>), dado que en dicha cuenca existe la información de base necesaria para la implementación del modelo (Figura 1). Además, el uso de suelo en esta subcuenca es representativo de toda la cuenca del Santa Lucía incluyendo lechería, ganadería, agricultura y forestación. El proyecto fue dividido en cuatro etapas: (1) recolección de los datos disponibles, (2) implementación del modelo, (3) calibración y validación y (4) simulación de escenarios.



Figura 1: Ubicación cuenca del río Santa Lucía entre nacientes y río Santa Lucía Chico y estaciones hidrométricas.

Gran parte de la información de entrada del modelo SWAT es generada por las instituciones participantes al proyecto. El modelo digital de terreno, los mapas de suelo con caracterización de propiedades físicas químicas e hídricas, la información de los Planes de Uso y las rotaciones típicas de los cultivos en la cuenca, fueron preparados por el DGRN-MGAP. Los mapas de uso del suelo, la identificación y caracterización de los vertidos puntuales de efluentes y las series históricas de monitoreo de calidad de agua, fueron generados por DINAMA-MVOTMA; mientras que la información histórica de monitoreo de caudal de tres estaciones de la cuenca (Figura 1) fueron proporcionados por DINAGUA-MVOTMA. Por otro lado, la información climática fue proporcionada tanto por el INIA como por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET), la cual consiste en una estación agroclimática completa y 28 pluviómetros.

El modelo fue evaluado automáticamente mediante la interfaz SWAT-CUP [6], herramienta que permite realizar conjuntamente el análisis de sensibilidad, la calibración/validación y el análisis de incertidumbre. Se calibró el caudal a paso de tiempo mensual para las tres estaciones de caudal (Figura 1) en el período 2000 al 2007. Seguidamente se validaron los resultados en el período 1995 - 1999. Como medidas de similitud entre los caudales observados y simulados se utilizó la eficiencia de Nash - Sutcliffe dando valores entre 0.71 - 0.84 para la calibración y 0.5 - 0.69 para la validación. La diferencia entre la validación y calibración puede deberse tanto a factores climáticos como a cambios en el uso del suelo. Para efectos de evaluación de escenarios consideramos suficientes los valores de eficiencia alcanzados.

La simulación de escenarios se realiza (trabajo en curso) con el fin de entender los impactos de los diferentes usos del suelo sobre la cantidad y calidad del agua, así como generar información que sirva para planificar el ordenamiento del territorio en cuencas donde se esperan cambios significativos en el uso del suelo. Al principio de 2019, se realizó un taller con la participación de técnicos y autoridades de las instituciones del grupo en el cual se presentaron los avances del proyecto y se generó un espacio de discusión para definición de los escenarios a implementar en el modelo desarrollado. Para la definición de los escenarios se tomaron además como antecedentes el Plan Nacional de Aguas [4] y las Medidas de segunda generación para el Santa Lucía [5]. Se acordó la simulación de los siguientes escenarios: (1) Evaluación de la zona buffer y (2) evaluación del manejo de efluentes de la producción lechera.

#### 4 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se mostró en este trabajo el proceso de integración interinstitucional para el desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la gestión y conservación de los recursos hídri-



Asociación de Universidades  
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

cos en una subcuenca del río Santa Lucía. El proceso consistió en capacitación, la generación de un grupo de trabajo y la creación de un espacio de trabajo y discusión científica.

Las fortalezas desarrolladas durante este proceso son cuatro fundamentalmente: (1) establecimiento de un ámbito de interacción y trabajo conjunto entre instituciones gubernamentales y centros de investigación; (2) existe un conjunto de técnicos de instituciones nacionales capacitados para utilizar el modelo e implementarlo en nuevas cuencas siguiendo la metodología; (3) modelo hidrológico SWAT implementado en la subcuenca del río Santa Lucía que sirve como primer paso hacia una herramienta de gestión; (4) proceso documentado, se generó una guía con supuestos consensuados que permitirá replicar el trabajo.

En cuanto a los obstáculos encontrados en el desarrollo de la experiencia interdisciplinaria, en un primer período emergieron dificultades básicas para encontrar el tiempo para el trabajo colectivo, en el contexto del trabajo de cada participante. Posteriormente se identificaron distintas formas de comprender las características de la cuenca y el grado de jerarquía a asignarles en el establecimiento del modelo conceptual necesario. Surgieron también instancias de ralentización del proceso, que hicieron necesario generar momentos de reflexión a la interna del equipo, en relación a su proceso de construcción y a la necesidad de establecer vínculos o compromisos más claros, desde las instituciones en relación al grupo de trabajo y al producto final del mismo. Por otro lado, se identificaron carencias en los datos de monitoreo que será importante considerar a posteriori.

Al construir una herramienta en consenso cada participante del grupo entiende y puede transmitir sus alcances y limitaciones. Este tipo de construcción genera confianza entre los participantes y en los resultados obtenidos, evitando conflictos entre instituciones al respecto y provocando la convergencia de las estrategias institucionales. Por lo tanto, la herramienta generada permitirá diseñar políticas alineadas en torno al uso de suelo, la gestión del agua para lograr los objetivos de calidad deseados. Creemos que el espacio generado debería continuar como un espacio de trabajo e intercambio acerca de la implementación de SWAT en otras cuencas, coordinación de tareas, sinergia cuando hay objetivos comunes, apoyo para la resolución de problemas.

## 5 AGRADECIMIENTOS

El grupo de trabajo interinstitucional quiere agradecer a todas las instituciones que hicieron posible la realización de esta tarea. Expresar también el agradecimiento personal a los técnicos de diversas disciplinas, consultados a lo largo del proceso de construcción de este trabajo.

## 6 REFERENCIAS

- [1] Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 73–89. doi: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- [2] Badham, J., Elsayah, S., Guillaume, J.H.A., Hamilton, S.H., Hunt, R.J., Jakeman, A.J., Pierce, S.A., Snow, V.O., Babbar-Sebens, M., Fu, B., Gober, P., Hill, M.C., Iwanaga, T., Loucks, D.P., Merritt, W.S., Peckham, S.D., Richmond, A.K., Zare, F., Ames, D., Bammer, G. (2019). *Effective modeling for Integrated Water Resource Management: A guide to contextual practices by phases and steps and future opportunities. Environmental Modelling & Software* 116, 40–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.02.013>

- [3] MVOTMA (2013). *Plan de Acción para la Protección del Agua en la Cuenca del Santa Lucía*. Recuperado de: <http://www.mvotma.gub.uy/ambiente/prevencion-y-control-para-el-cuidado-del-ambiente/estado-del-ambiente/plan-santa-lucia>
- [4] MVOTMA (2017). *Plan Nacional de Aguas*. Recuperado de: <http://www.mvotma.gub.uy/politica-nacional-de-aguas/plan-nacional-de-aguas>.
- [5] MVOTMA (2018). *Plan de Acción de la protección de la calidad ambiental de la Cuenca del Río Santa Lucía, Medidas de 2da Generación*. Recuperado de: <https://www.mvotma.gub.uy/novedades/noticias/item/10012261-medidas-de-segunda-generacion-para-cuenca-del-santa-lucia>
- [6] Abbaspour, K. C (2011). *SWAT-CUP 4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs. A User Manual*. Swiss: Eawag, 103 pp. Recuperado de: [https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual\\_swatcup.pdf](https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf)