



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



APOYO A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN URUGUAY

GRUPO DE MODELACIÓN INTEGRADA DE CUENCA: EXPERIENCIA DE TRABAJO INTERINSTITUCIONAL

Eliana Nervi¹, Magdalena Borges², Mercedes Gelós³, Jimena Alonso⁴, Rafael Navas⁵, Pablo Kok³, Florencia Hastings³, José Valles⁶, Vanessa Erasun⁶, Augusto Souto⁷, Franco Frabasile⁸, Francisco Rosas⁸, R. Willem Vervoort⁹, Walter Baethgen¹⁰

1. Proyecto FPTA 358 Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay

2. Wageningen University & Research, The Netherlands

3. Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Ambiente, Montevideo, Uruguay

4. Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

5. Departamento del agua, Centro Universitario Regional Litoral Norte, Universidad de la República, Salto, Uruguay.

6. Dirección Nacional de Aguas, Ministerio de Ambiente, Montevideo, Uruguay

7. Arizona State University

8. Universidad ORT Uruguay y Centro de Investigaciones Económicas (cinve)

9. Sydney Institute of Agriculture, The University of Sydney, Sydney NSW 2006, Australia.

10. International Research Institute for Climate and Society, Earth Institute, Columbia University, Estados Unidos.

TEMA 4: Gestión de recursos hídricos

RESUMEN

Palabras Clave: Modelación hidrológica, SWAT, Interdisciplina

Dados los desafíos actuales y futuros que enfrenta Uruguay debido al aumento de la producción agropecuaria, la generación de efluentes industriales y domésticos, la variabilidad climática y la presión económica, el desarrollo de herramientas para el apoyo al manejo de la calidad y cantidad de los recursos hídricos es y será crucial para realizar una gestión sostenible de dichos recursos. Durante los últimos años, se ha observado un notorio deterioro de la calidad de los recursos hídricos que se manifiesta como un aumento en la concentración de nutrientes y un aumento en la frecuencia en la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. Asimismo, eventos hidrometeorológicos como las sequías han aumentado su duración, frecuencia e intensidad. En este sentido, la cuenca del Río Santa Lucía es la que mayor atención ha centralizado, dada su importancia estratégica para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Montevideo y a la región metropolitana. Se presenta el proceso de trabajo interinstitucional del Grupo de Modelación Integrada de Cuenca, el cual surge de la identificación de necesidades de trabajo conjunto de carácter multidisciplinario para desarrollar capacidades hacia una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en ambiente-economía.

Se realizaron instancias de capacitación en modelación hidrológica en el uso de SWAT, durante la cual participaron instituciones gubernamentales, la academia, entre otras. El grupo fue creado sobre un enfoque de modelación participativa que involucra a diferentes instituciones interesadas. En este sentido, se utilizó una definición diferente a la usual para el término *parte interesada*, que incluye a cualquiera que tenga interés (de participación) en un proyecto de gestión integrada de agua, que pueden ser identificadas como *activas o principales, actores externos o decisores, público interesado en general y expertos locales* que apoyan en la validación del modelo y la interpretación de los resultados.

Durante el proceso de trabajo se identificaron varios desafíos, tales como las diferentes visiones sobre la representación de la cuenca, la calidad y usabilidad de datos de entrada y la prioridad de los escenarios de salida. Por otro lado, existen factores que mejoraron la colaboración del grupo. Por ejemplo, la experiencia piloto permitió generar capacidades técnicas y estableció un ámbito de interacción y trabajo conjunto que continúa en la actualidad, al cual se han incorporado instituciones gubernamentales y centros de investigación en áreas vinculadas a medio ambiente y economía. Esto dió origen a un grupo de técnicos de instituciones nacionales capacitados para utilizar el modelo e implementarlo en nuevas cuencas para apoyar 1) la formulación y monitoreo de políticas públicas productivas y ambientales, 2) apoyar los



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



procesos de toma de decisión de agentes económicos individuales. Al momento se han implementado diversos modelos en varias cuencas del país, siendo éste el primer paso hacia una herramienta de gestión orientada hacia el diseño de políticas de gestión del agua, alineadas en torno a una visión integrada. Por último, se espera que la documentación detallada proporcionada con este proyecto pueda inspirar enfoques similares a otras áreas en el futuro.

ANTECEDENTES

El aumento de la producción y la productividad agropecuaria, la generación de efluentes industriales y domésticos tienen un efecto directo en la contaminación de los recursos hídricos, la erosión de los suelos y disponibilidad de agua para otros usos. Uno de los desafíos que enfrenta Uruguay actualmente es el aseguramiento de ambos: cantidad y calidad de agua, para la producción, el consumo humano y los ecosistemas hacia el futuro. Durante los últimos años, se ha observado un notorio deterioro de la calidad de los recursos hídricos, como episodios de floraciones de cianobacterias en varios cursos de agua, entre ellos el río Santa Lucía (Aubriot et al., 2018), el cual constituye la principal fuente de agua potable del país. En este sentido, la cuenca del Río Santa Lucía es la que mayor atención ha centralizado, dada su importancia estratégica para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Montevideo y a la región metropolitana (MVOTMA, 2018).

En el año 2015, 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”, se discutieron las necesidades de información que tiene el sector de políticas públicas en el tema “Agua”, identificando de manera clara y unánime en las instituciones participantes la demanda de apoyo para la planificación del uso del agua a nivel de cuencas y la potencialidad del uso de 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. Más adelante, en el año 2017 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 planteó *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*. Como resultado de ambas iniciativas se formó un grupo técnico interinstitucional e interdisciplinario que llevó adelante un proyecto piloto aplicando el modelo SWAT a una subcuenca del río Santa Lucía (Hastings et al., 2019). El modelo SWAT es un buen candidato para usar en Uruguay ya que permite el análisis de escenarios, es utilizado internacionalmente y hay una gran comunidad de usuarios a nivel mundial. Este piloto constituyó el primer ejemplo de modelación participativa que dió origen al Grupo de Modelación Integrada de Cuenca.

Formación del grupo de trabajo y aprendizajes del proyecto piloto en Santa Lucía utilizando el modelo SWAT

El grupo fue creado sobre un enfoque de modelación participativa que involucra a diferentes instituciones interesadas. Inicialmente, el grupo adoptó una metodología de trabajo constante con reuniones semanales rotativas en las diferentes sedes de las instituciones que integraron el proyecto. Después de algunas reuniones, el grupo de partes interesadas activas desarrolló orgánicamente dos tipos de participantes: los *modeladores centrales*, que eran partes interesadas dispuestas a ejecutar el modelo SWAT; y los *controladores*, que eran partes interesadas que verificarían el resultado del modelo en relación con su experiencia, y serían consultados en relación con las entradas del modelo. Estos roles son similares a los “modeladores” y los “guardianes”, que se encuentran entre los cinco roles esenciales de las partes interesadas en modelación colaborativa, definidos en Renger et al. (2008). Los otros tres roles esenciales son el de facilitador, entrenador de procesos y registrador, y todos están integrados bajo el rol de expertos (Figura 1). Esta forma de trabajo proporcionó transparencia en términos de los diferentes pasos en el proceso y los resultados del proyecto, la cual se fortaleció a través de varios talleres, donde se presentó

el progreso general y los puntos de decisión del proyecto a los *controladores* y a otros interesados. Los talleres también crearon una oportunidad para solicitar aportes de las partes interesadas gerenciales que toman decisiones (*partes interesadas externas*) y la comunidad de investigación uruguaya en general, *las partes interesadas indirectas*.



Figura 1. Partes interesadas y su influencia en el proyecto adaptado desde Mer et al., 2020, (Langsdale et al., 2013).

El proceso de trabajo con SWAT fue documentado y se disponibilizó un modelo calibrado y validado para la subcuenca 60 de libre acceso web en 2019. Se generaron documentos de apoyo y los tutoriales que se centran en la metodología, los análisis y las decisiones en relación con el modelado se trasladaron a un proyecto Open Science Framework, que es de acceso público (Mer et al., 2022). Se identificaron varios desafíos, tales como las diferentes visiones sobre la representación de la cuenca, la calidad y usabilidad de datos de entrada y la prioridad de los escenarios de salida. Por otro lado, existen factores que mejoraron la colaboración del grupo, como la generación de capacidades técnicas y el trabajo en una cuenca única. Según la evaluación realizada por Mer et al, (2020), el proyecto piloto obtuvo una puntuación alta en términos de éxito de modelación participativa, presentando además altos niveles de participación de todas las partes interesadas relevantes (Tabla 1).

Tabla 1. Resultado del proyecto en las dimensiones de participación propuestas por Falconi & Palmer, 2017 en la modelación participativa para la creación de herramientas de toma de decisiones efectivas (adaptado desde Mer et al, 2020)

Dimensiones	Proyectos de modelación en el grupo: Ejemplo del Proyecto Piloto
Participantes	Técnicos e investigadores de ministerios, universidades, centro de investigación como INIA, equipo organizador y expertos del IRI y USYD.
Etapas en la participación	Recopilación de datos, conceptualización de modelos, definición e identificación de problemas, construcción, calibración y uso de modelos, validación de modelos utilizando datos relevantes y calibración blanda.
Grados de involucramiento	“Modeladores y controladores”: modelado colaborativo, sin embargo, una parte del grupo participa activamente en el proceso de modelado mientras que otra parte del grupo operó principalmente como asesores.
Niveles de influencia	Vínculo directo con departamentos gubernamentales, con un interés significativo desde autoridades
Propósito	Desarrollar escenarios para informar el resultado de políticas relacionadas con el cambio de uso de la tierra y las prácticas de intensificación agrícola



Una vez finalizado el proyecto piloto se obtuvieron las capacidades en uso de datos locales, implementación del modelo SWAT e interpretación de resultados. Actualmente el grupo mantiene la modalidad de reuniones y se han incorporado nuevos integrantes de instituciones gubernamentales y centros de investigación en áreas vinculadas a medio ambiente y economía. Esto dió origen a un grupo de técnicos de instituciones nacionales capacitados para utilizar el modelo e implementarlo en nuevas cuencas para apoyar: 1) la formulación y monitoreo de políticas públicas productivas y ambientales, 2) apoyar los procesos de toma de decisión de agentes económicos individuales.

GRUPO DE MODELACIÓN INTEGRADA DE CUENCA (GMIC)

El Grupo de Modelación Integrada de Cuenca surge de la identificación de necesidades de trabajo conjunto de carácter multidisciplinario para desarrollar capacidades hacia una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en ambiente-economía (GMIC, 2022). El mismo incorpora integrantes de equipos de trabajo en monitoreo y modelación hidrológica del MA, a través de sus direcciones nacionales: Dinacea y la Dirección Nacional de Aguas (Dinagua), y es un espacio de intercambio entre otras instituciones técnicas tales como la Dirección General de Recursos Naturales (DGRN) del MGAP, e instituciones de investigación y desarrollo entre las cuales se encuentra la Universidad de la República (IMFIA - Facultad de Ingeniería, Departamento del Agua-CENUR Litoral Norte y Facultad de Agronomía), la ORT, el INIA, el IRI-Universidad de Columbia, Universidad de Sydney. El esfuerzo de trabajo interdisciplinario (Tabla 2), que se sostiene con reuniones periódicas entre los actores clave de las instituciones, resulta estratégico para lograr herramientas con validez técnica que consideren las diferentes dimensiones involucradas (Ministerio de Ambiente, 2022).

Tabla 2. Instituciones participantes de GMIC como partes interesadas activas (modeladores y controladores)

Categoría	Principal interés	Instituciones*
Instituciones públicas	Definir políticas hacia la intensificación agrícola sostenible	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)
	Definir medidas para el monitoreo, evaluación, y aseguramiento de la calidad ambiental	Ministerio de Ambiente (MA) -Dirección Nacional de Control y Evaluación Ambiental (DINACEA)
	Definir medidas relativas al uso del agua (cantidad)	Ministerio de Ambiente (MA) -Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA)
Centros de investigación y universidades	Investigación en el desarrollo de agricultura sostenible para informar al sector público y privado	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)
	Investigación y cursos en hidrología	Universidad de la República (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental y Departamento del Agua-CENUR)
	Investigación en modelos integrados ambiente-economía	Universidad ORT Uruguay IECON/FCEA Investigadores de otras universidades (Wageningen University, Colorado University)

*Los participantes de las reuniones varían según las actividades, temas de discusión y propuestas de trabajo conjunto.

Actualmente el uso de modelos integrados se ha expandido a otras cuencas y las reuniones son facilitadas por el apoyo técnico del proyecto FPTA 358 como uno de los componentes principales de trabajo. El equipo ha trabajado en modelación con SWAT, en las cuencas Santa Lucía, San Salvador, Tala, Río Negro y Laguna del Cisne. También se ha incorporado el uso de otros modelos, impulsado por el surgimiento de nuevos proyectos que incorporan el uso de modelación a nivel nacional. Un ejemplo es el proyecto en curso Adaptación en Acción - Cuenca Santa Lucía”, liderado por la Dirección Nacional de Aguas (Dinagua)

del Ministerio de Ambiente (MA), y financiado por Euroclima+, en el cual participan integrantes del grupo y se han realizado capacitaciones en la temática de trabajo. Además, se han incorporado investigadores que utilizan las salidas del modelo biofísico, como entradas para modelos económicos que permiten abordar problemáticas con un enfoque integrado ambiente-economía. El proyecto ANII “DAIS: Plataforma para el soporte a la toma de decisión en el desarrollo de la agricultura irrigada sostenible” ejecutado entre 2019 y 2022, fue base de iniciativas de modelación para el desarrollo de agricultura irrigada sostenible, en el cual participan el IMFIA (Udelar), INIA, Facultad de Ciencias Económicas, Facultad de Ciencias y Universidad ORT. En la figura 2 se resumen las cuencas nacionales en las cuales se han realizado proyectos que incorporan modelación en el marco de trabajo del grupo. La tabla 3 resume con detalle los integrantes y los proyectos en marcha.

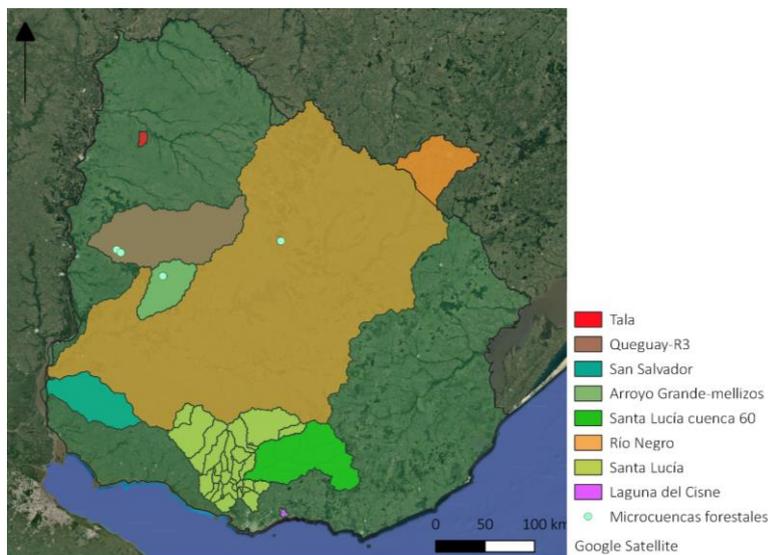


Figura 2. Mapa de cuencas donde se encuentra trabajando el grupo de trabajo de modelación. Se destacan las cuencas del Río Negro, Río Santa Lucía, Río San Salvador y cuencas forestales.

A través de este grupo se han generado desarrollos específicos para el análisis e interpretación de resultados de modelación de calidad de agua, así como un ámbito muy relevante para trabajar en la documentación y difusión de resultados. El objetivo del grupo es seguir impulsando el uso de modelos y obtener resultados pertinentes en modelación de escenarios para acercarnos a comprender impactos y beneficios de acciones como cambios en el uso del suelo, infraestructura de riego, manejo de efluentes, zonas buffer, uso de fitosanitarios. A continuación, se listan algunos de los logros identificados desde la finalización del proyecto piloto en el 2019 al presente.

Tabla 3. Proyectos de modelación de cuenca.

Area	Responsable/s	Organización	Modelo	Líneas de trabajo
Microcuencas forestales	Luciana Badano/Jimena Alonso	Udelar-IMFIA Proyecto ANII FSI_S_2016-1- 128679	SWAT2012	Cambio de escala, ajuste de parámetros fisiológicos en E.grandis
Arroyo Grande			SWAT2012	Evolución forestal en la cuenca, cambio de escala
Santa Lucía	Pablo Kok, Mercedes Gelos, Natalia Neighbor, Luciana Badano	DINACEA (MA)	SWAT2012	Escenarios de manejo de efluentes, pesticidas
Santa Lucía	José Vallés, Vanessa Erasun, Pablo Kok, Mercedes Gelos, Rafael Navas	DINAGUA, DINACEA (MA), Udelar	WFLOW, DELWAQ, Ribasim	Sistema operativo de alerta temprana en cantidad y calidad de agua para sustentar la toma de decisiones en la Cuenca del Río Santa Lucía



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



San Salvador	Florencia Hastings/Angela Gorgolione	Proyecto DAIS (INIA/ORT/UdelaR)	SWATplus y SWAT2012	Datos de suelo y base de datos de cultivos para SWATplus Escenarios de uso de suelo e impacto en calidad de agua
San Salvador	Rafael Navas /Francisco Rosas/Franco Frabasile/Augusto Souto/Miguel Carriquiry	Proyecto DAIS (INIA/ORT/UdelaR)	SWAT2012	Acoplado a modelo económico
Arroyo Tala	Andres Saracho	UdelaR – CENUR Proyecto DAIS (Innovagro)	SWATplus y SWAT2012	Escenarios de riego
Arroyo Tala	Rafael Navas /Francisco Rosas/Franco Frabasile/Miguel Carriquiry	Proyecto DAIS (INIA/ORT/UdelaR)	SWAT2012	Acoplado a modelo económico
Subcuenca 60 Santa Lucía	Rafael Navas /Francisco Rosas/Franco Frabasile/Augusto Souto	Proyecto DAIS (INIA/ORT/UdelaR)	SWAT2012	Acoplado a modelo económico
Subcuenca 60 Santa Lucía	Eliana/Willem	The University of Sydney	SWATplus	Desarrollo de capacidades en SWAT+
Subcuenca 60 Santa Lucía	Rafael Navas /Jimena Alonso/Angela Gorgolione/Willem Vervoort	IMFIA UdelaR- The University of Sydney	GR4J	Implementación y calibración de GR4J
Santa Lucía (subcuencas 60, 61, 62 y 63)	Magdalena Borges	UdelaR - IECON-WUR	SWAT2012	Mapeo de servicios ecosistémicos y análisis de costo efectividad y costo beneficio
Río Queguay	Federico Vilaseca/Jimena Alonso	UdelaR-IMFIA Proyecto ANII FSI S_2016-1-128679	SWAT2012	Evolución forestal en la cuenca, cambio de escala
Laguna del Cisne	Mercedes Gelós	FAO-MA	SWAT2012	Proyecto Plaguicidas

Logros alcanzados en el período de trabajo 2019-2022:

- *Creación de un espacio de trabajo sostenido en el tiempo y discusión científica.* El esfuerzo de trabajo interdisciplinario se sostiene con reuniones periódicas entre los actores clave y resulta estratégico para lograr herramientas con validez técnica que consideren las diferentes dimensiones involucradas.
- *Conformación de un grupo de modelación para la gestión de la cantidad y calidad de agua de conformación abierta y carácter colaborativo con otras iniciativas en la temática.*
- *Capacitación.* Instancias formativas para promover el uso de herramientas de modelación
- *Consulta con expertos.* Robustez técnica y confianza en los resultados de los modelos
- *Recopilación y preparación de información de diferentes fuentes de información*
- *Workshops y talleres de difusión*
- *Documentación del proceso: Open Science Framework*
- *Publicaciones y participación en congresos eg.* Navas et al., 2019, Hastings et al 2019, Nervi et al., 2019 , Mer et al., 2020, Hastings et al., 2020, Ministerio de Ambiente, 2020, Gelós, Mercedes, 2020
- *Nuevos proyectos de modelación vinculados*
-

El ámbito de trabajo del grupo pretende aportar en la articulación entre equipos técnicos de diversas disciplinas y los tomadores de decisiones. Este es el mayor desafío para ampliar el alcance de estas herramientas, por lo que resulta clave vincular estos resultados con los de otras disciplinas que incorporan modelos, tales como servicios ecosistémicos y abordajes metodológicos de economía ambiental.



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

MODELACIÓN INTEGRADA AMBIENTE-ECONOMÍA

La gestión de recursos hídricos no solo involucra temas de hidrología, sino que también requiere la integración de otras disciplinas, para abordar la problemática de una manera más holística, contemplando distintos puntos de vista e intereses. Es por eso que, el GMIC está conformado por ingenieros/as hidráulicos, ingenieros/as agrónomos, biólogos/as, biotecnólogos/as, economistas, entre otros. La interacción entre estas disciplinas se da de la siguiente manera. 1) El análisis comienza con la modelación biofísica, realizada a través de plataformas como SWAT u otro modelo hidrológico, con la participación fundamentalmente de aquellos que están más vinculados a las ciencias hídricas y biológicas. De este ejercicio, además de estimar la escorrentía superficial, las exportaciones totales de nutrientes y otros contaminantes a los cursos de agua, también es posible estimar, por ejemplo, los rendimientos de los cultivos en toneladas por hectárea (servicio de provisión) o la retención de nutrientes por parte de los bosques ribereños en toneladas (servicio de regulación y mantenimiento), etc. Además, es posible calcular la efectividad en términos de reducción de las cargas de nutrientes de distintas medidas de política (por ejemplo, de la implementación de zonas buffer, de cambios en los usos del suelo o en la fertilización, etc.). 2) Se incorpora información económica a los resultados extraídos en la etapa anterior, para poder realizar distintos tipos de análisis, como: valoración monetaria de servicios ecosistémicos (ss. ee.), análisis costo - efectividad y análisis costo - beneficio. A continuación, se exponen algunos ejemplos de análisis ya realizados o que se pueden realizar:

- *Valoración de ss. ee.:* se incorpora información monetaria (como el precio de venta de cultivos, costos de producción, costos de potabilización del agua, etc.) a los datos físicos calculados previamente, para estimar la contribución de la naturaleza en la provisión de servicios, aplicando métodos como el del valor residual de la renta o de costos evitados, entre otros. Si bien este tipo de valoraciones puede generar controversias, es aconsejable realizarlo para integrar la naturaleza en las evaluaciones. De otra manera, se corre el riesgo de que no sea considerada.
- *Análisis costo efectividad de medidas de reducción de la contaminación:* además de estimar el impacto de una medida en función de su efectividad para reducir las exportaciones de nutrientes, es importante evaluar el costo de la misma. Con estos datos se pueden calcular cuántas toneladas de N o P se podrían reducir por cada peso o dólar gastado según la medida y ordenar las mismas de menor a mayor, para luego sugerir un orden de implementación, aplicando en primer lugar las más costo-efectivas.
- *Análisis costo beneficio de medidas de reducción de la contaminación:* otro análisis económico típico y más completo que el anterior es el de costo - beneficio. Éste no sólo considera la efectividad de la medida para bajar las cargas de contaminantes y sus costos, sino que también toma en cuenta los beneficios que generaría la misma. Por ejemplo, las menores exportaciones de nutrientes, impactarían en la calidad de agua, evitando mayores costos para la potabilización del agua, permitiendo que actividades deportivas o de recreación se continúen realizando o evitando eventualmente que se produzca una mortandad de peces que impida que se desarrolle la actividad pesquera, etc. En términos de política, la teoría económica sugiere que se lleven a cabo aquellas medidas que reportan mayores beneficios que costos.

Otros ejemplos de análisis integrados se encuentran en Rosas F, 2022. Allí se menciona una aplicación concreta, realizada por Souto et al., (2021), donde se evaluaron de forma conjunta en la cuenca del río San Salvador, los impactos económicos y ambientales (concentración de nitratos y fósforo) de distintas tecnologías de riego y fertilización en cultivos agrícolas. Este tipo de análisis permite evaluar los potenciales *trade-off* que se pueden dar entre la economía y el ambiente y en función de eso, se puede optar por la opción que genere menos conflicto o más sinergias entre ambas dimensiones. En concreto, en el estudio se encontró que “*los escenarios de expansión de riego con aumentos leves en la fertilización son preferidos*”.

Cabe aclarar que, si bien en esta última etapa tienen más participación los integrantes vinculados a las ciencias sociales, es muy relevante mantener siempre la comunicación y el intercambio con los otros participantes, para la discusión y validación de los supuestos y resultados. Finalmente, también cabe



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

mencionar que más allá de los análisis costo - efectividad y costo - beneficio, también es necesario estudiar quiénes son los agentes que enfrentarían los costos y quiénes se benefician de las medidas, ya que no necesariamente son los mismos y conocer esta información es importante para proponer mecanismos que faciliten la implementación de las medidas.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS

Los modelos calibrados y validados tienen el potencial de ser utilizados para el análisis y evaluación de escenarios. Estos últimos otorgan información sobre, por ejemplo, los impactos de los diferentes usos del suelo sobre la cantidad y calidad del agua para apoyar a la planificación. Sin embargo, es de amplio conocimiento que los modelos pueden ser complejos e inciertos debido a las simplificaciones en su estructura para representar “cuencas reales” y que la modelación de escenarios puede presentar dificultades, dada la imposibilidad de verificar el modelo por completo (Olsson & Andersson, 2006) más aún en cuencas en donde la disponibilidad de datos es limitada. Por lo tanto, los supuestos deben definirse de una manera que asegure que los escenarios sean realistas y creíbles. En la mayoría de los casos esto no sucede ya que las partes interesadas solo participan en etapas finales o algunas de las etapas del proceso (Voinov et al., 2016), dando lugar a que el proceso no sea completamente transparentes y comprensible por todos los actores (Langsdale et al., 2013).

Durante el trabajo del grupo, las partes interesadas participan plenamente en el proceso de modelado y pueden tomar decisiones sobre el desarrollo del modelo y los supuestos de escenarios. Además de quienes participan, el contexto en el que se desarrolló y configuró el modelo es relevante, por lo que es necesario una diversidad de opiniones, perspectivas y enfoques para obtener resultados robustos a partir de un modelo (Melsen, 2022). Esto solo se puede lograr si los procedimientos de modelado se vuelven más transparentes y se adquiere una visión clara y conjunta. La metodología de trabajo del grupo es interinstitucional, de carácter abierto y colaborativo, buscando que las partes interesadas se involucren durante todo el trabajo, desde el inicio en la obtención de la información, y en etapas de implementación y la evaluación del modelo. De esta manera, los resultados adquieren robustez técnica, y se genera confianza en los mismos, logrando un feedback positivo de técnicos y especialistas en diferentes disciplinas, con quienes el vínculo se ha consolidado gracias a las sinergias de varias instituciones interesadas. Además, en todos los casos el desarrollo de herramientas se genera con la perspectiva de apoyar las decisiones de gestión ambiental de las instituciones involucradas.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se ha establecido desde el 2019 un ámbito de interacción y trabajo conjunto para el uso de modelación integrada, entre instituciones gubernamentales y centros de investigación con el apoyo de las autoridades. Actualmente el grupo es un espacio de trabajo e intercambio continuo y sinérgico cuando hay objetivos comunes, o se requiere el apoyo para la resolución de problemas. Además, la participación de equipos técnicos de las distintas instituciones de gestión hace coincidir los intereses de dichos ámbitos de gestión, dando valor, aplicabilidad y robustez al trabajo. Esperamos que esta modalidad de trabajo continúe promoviendo la generación de nuevos proyectos y surjan más publicaciones en el uso y aplicación de modelación integrada en Uruguay. El grupo continuará con las instancias de capacitación en modelación e incorporará otras nuevas como el análisis, interpretación y visualización de los resultados de los modelos, para que puedan ser comunicados e interpretados por las partes interesadas externas. Por último, seguirá dando apoyo a la gestión desde las propias instituciones y la academia e impulsando la incorporación de las herramientas generadas al diseño de políticas alineadas en torno al uso de suelo y la gestión del agua.

REFERENCIAS

- Aubriot, L. E. (2018). Evolución de la eutrofización en el Río Santa Lucía: Influencia de la intensificación productiva y perspectivas. *INNOTECH*, 14. <https://doi.org/10.26461/14.04>
- Falconi, S. M., & Palmer, R. N. (2017). An interdisciplinary framework for participatory modeling design and evaluation—What makes models effective participatory decision tools? *Water Resources Research*, 53(2), 1625–1645.



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

- Gelós, Mercedes. (2020). Modelación SWAT Evaluación del destino ambiental de plaguicidas, <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/evaluacion-del-destino-ambiental-plaguicidas>
- GMIC. (2022). Grupo Interinstitucional de Herramientas de Modelación Para La Gestión de La Cantidad y Calidad de Agua. <https://proyectoiria-iri-usyd.github.io/GmicUy/>
- Hastings, F., Fuentes, I., Perez-Bidegain, M., Navas, R., & Gorgoglione, A. (2020). Land-Cover Mapping of Agricultural Areas Using Machine Learning in Google Earth Engine. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020.
- Hastings, F., Mer, F., Alonso, J., Navas, R., Kok, P., Pereyra, P., Badano, L., Neighbur, N., Baccino, A., Diaz, F., Baethgen, W., & Vervoort, R. W. (2019). 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. II Congreso de Agua Ambiente y Energía, AUGM.
- Langsdale, S., Beall, A., Bourget, E., Hagen, E., Kudlas, S., Palmer, R., Tate, D., & Werick, W. (2013). Collaborative Modeling for Decision Support in Water Resources: Principles and Best Practices. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 49(3), 629–638.
- Melsen, L. A. (2022). It Takes a Village to Run a Model—The Social Practices of Hydrological Modeling. Water Resources Research, 58(2).
- Mer, F., Badano, L., Neighbur, N., Hastings, F., Baethgen, W., Alonso, J., Navas, R., Nervi, E., & Vervoort, R. (2022). SWAT Subcuenca Santa Lucía.
- Mer, F., Baethgen, W., & Vervoort, R. W. (2020). Building trust in SWAT model scenarios through a multi-institutional approach in Uruguay. Socio-Environmental Systems Modelling, 2, 17892. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a17892>
- Ministerio de Ambiente. (2020). Mapa de cobertura del Uso del Suelo de la cuenca del río San Salvador en el año 1990.
- Ministerio de Ambiente. (2022). Gestión de Calidad de Agua: Herramientas de Modelación En La Gestión Ambiental.
- MVOTMA. (2018). Plan de Acción para la Protección del Agua en la Cuenca del Santa Lucía. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/plan-accion-para-proteccion-del-agua-cuenca-del-santa-lucia>
- Navas, R., Alonso, J., Gorgoglione, A., & Vervoort, R. W. (2019). Identifying Climate and Human Impact Trends in Streamflow: A Case Study in Uruguay. Water, 11(7), 1433.
- Nervi, E., Gorgoglione, A., Vervoort, R. W., Sposito, V., & Faggian, R. (2019). Aplicación del modelo SWAT en estudios de la presencia de glifosato en escorrentías rurales en una subcuenca del río Santa Lucía. II Congreso de Agua Ambiente y Energía, AUGM, 6.
- Olsson, J. A., & Andersson, L. (2006). Possibilities and problems with the use of models as a communication tool in water resource management. Water Resources Management, 21(1), 97–110.
- Rosas, F. (2022). Modelos de Evaluación Integrada Ambiente – Economía. Proceso que viene avanzando en Uruguay a paso firme. . Blog SUMA. CINVE. <https://cinve.org.uy/20602/>
- Souto, A., Carriquiry, M., & Rosas, F. (2021). Análisis de Prácticas de Producción Agrícola en Uruguay Mediante la Utilización de un Modelo de Evaluación Integrado Ambiente-Economía. Maestría en Economía. FCEA. UdelaR.
- Voinov, A., Kolagani, N., McCall, M. K., Glynn, P. D., Kragt, M. E., Ostermann, F. O., Pierce, S. A., & Ramu, P. (2016). Modelling with stakeholders – Next generation. Environmental Modelling & Software, 77, 196–220.