



UNAN-LEÓN

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático  
(Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.)  
Vol. 1 num 1 2015, pag 72-87  
ISSN Electrónico 2410-7980  
ISSN Impreso xxxx-xxxx

## Servicios ambientales y gestión de los recursos hídricos utilizando el modelo WEAP: casos de estudio en Iberoamérica.

Dra. Tatiana Geler Roffe<sup>1\*</sup>, Doctorando Pedro José Toruño<sup>2</sup>, Ing. Edgar Antonio Marinero Orantes<sup>3</sup>, Ing. Eva Isabel Gutiérrez Espinoza<sup>4</sup>

1. Instituto de Geografía Tropical, Email: [tgeler@ceniai.inf.cu](mailto:tgeler@ceniai.inf.cu)
2. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada, Email: [pjoseto@gmail.com](mailto:pjoseto@gmail.com)
3. Universidad de El Salvador, Unidad de investigación Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Email: [edgar.marinero@ues.edu.sv](mailto:edgar.marinero@ues.edu.sv)
4. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada, Email: [eva.gutierrez@ct.unanleon.edu.ni](mailto:eva.gutierrez@ct.unanleon.edu.ni)

\*Autor por correspondencia: [tgeler@ceniai.inf.cu](mailto:tgeler@ceniai.inf.cu)

Recibido: 12 Septiembre 2014

Aceptado: 12 Noviembre 2014

### RESUMEN

En el presente trabajo, se identifican las experiencias de los países Iberoamericanos que han aplicado la Bioeconomía en el sendero de los Servicios Ambientales (SA) de regulación hídrica y calidad del agua, como parte de la gestión de los recursos hídricos ante los impactos del cambio climático. Se realizó la revisión de documentos y casos de aplicación de esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en América Latina y Caribe (ALC). Se incorpora, además, la aplicación del modelo hidrológico WEAP (*Water Evaluation and Planning System*) como modelo para la gestión de los recursos hídricos. Se hace una revisión de los casos de aplicación de este modelo hidrológico en ALC, que permite la estimación de los SA del recurso agua y su relación con el uso del suelo y los cambios climáticos.

**Palabras clave:** Bioeconomía, Servicios Ambientales, Pago por Servicios Ambientales, gestión de los recursos hídricos, modelo hidrológico WEAP.

## Environmental services and hydrological resources management using the WEAP model. study cases in latin america.

Dra. Tatiana Geler Roffe<sup>1\*</sup>, Doctorando Pedro José Toruño<sup>2</sup>, Ing. Edgar Antonio Marinero Orantes<sup>3</sup>, Ing. Eva Isabel Gutiérrez Espinoza<sup>4</sup>

1. Instituto de Geografía Tropical, Email: [tgeler@ceniai.inf.cu](mailto:tgeler@ceniai.inf.cu)
2. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada, Email: [pjoseto@gmail.com](mailto:pjoseto@gmail.com)
3. Universidad de El Salvador, Unidad de investigación Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Email: [edgar.marinero@ues.edu.sv](mailto:edgar.marinero@ues.edu.sv)
4. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada, Email: [eva.gutierrez@ct.unanleon.edu.ni](mailto:eva.gutierrez@ct.unanleon.edu.ni)

\*Autor por correspondencia: [tgeler@ceniai.inf.cu](mailto:tgeler@ceniai.inf.cu)

Received: 12 September 2014

Accepted: 12 November 2014

### ABSTRACT

In the present work, have been identified the experiences of the Ibero-American countries that have applied the Bio-economy in the path of the Environmental Services (ES) on hydrologic regulation and water quality, as part of the hydrological resources management under the impacts of the climatic changes. It has been carried out the revision of documents and application cases of Payment for Environmental Services (PES) outlines in Latin America and Caribbean (ALC). Also, It has been incorporated the application of the hydrological model WEAP (Water Evaluation and Planning System) as a model for hydrological resources management. A revision of the cases of application of this hydrological model in ALC has also been made, that allows the estimation of the environmental services of water resource and its relationship with the land use and the climatic changes.

**Key words:** Bio-economy, Environmental Services, Payment for Environmental Services, hydrological resources management, WEAP hydrological model.

## INTRODUCCIÓN

La integración entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente, conceptualizada de manera general como desarrollo sostenible, es uno de los grandes desafíos globales de la actualidad. La necesidad de ejecutar políticas públicas que generen crecimiento económico y bienestar, aliados a la sustentabilidad de los recursos naturales, está generando nuevos marcos conceptuales, tales como el de la Bioeconomía. Este concepto se viene consolidando gradualmente y apunta a un nuevo paradigma de desarrollo económico, social y ambiental.

La primera y actualmente más utilizada definición de bioeconomía fue la elaborada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 2006, que definió la bioeconomía como “el conjunto de operaciones económicas de una sociedad que utiliza el valor latente en los productos y procesos biológicos para conseguir nuevo crecimiento y beneficios para ciudadanos y naciones” (OCDE, 2006).

Su enfoque holístico madura y se consolida en los siguientes documentos sobre la bioeconomía basada en el conocimiento, o Knowledge Based Bioeconomy (KBBE) (EU Commission, 2007, 2010). En ellos, la bioeconomía ya no es un proceso para extraer beneficios de los recursos biológicos, ni una forma alternativa de economía sostenible, ni tampoco un proyecto político dirigido a modificar la relación entre ciencia, economía y política. Por el contrario, se presenta como un marco interpretativo de la realidad misma, una visión articulada de lo que es y debería ser la buena sociedad, los bienes comunes y las formas más adecuadas de cómo deberíamos relacionarnos unos con otros, con la naturaleza y con la sociedad misma, Pavone (2012).

La bioeconomía, en un sentido amplio, comprende a todos los sectores de la economía que utilizan biomasa y procesos biológicos en cualesquiera de sus formas posibles y se basa en la premisa de que es necesaria una diversificación y mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales (Trigo, 2013).

Este concepto surge como respuesta a un conjunto de desafíos globales que plantean la necesidad de un cambio de comportamientos, donde el sector agropecuario está llamado a desempeñar un papel estratégico.

En este sentido ALCUENET ha logrado identificar diferentes senderos productivos en la bioeconomía: Explotación de los recursos de la biodiversidad, Eco intensificación, Aplicaciones de Biotecnología, Biorefinerías y Bioproductos, Mejorando la eficiencia en la cadena de valor y Ecosistemas de servicios (Trigo, 2013).

En este trabajo se describe el sendero de los Ecosistemas de Servicios el cual está relacionado con los servicios que generan los ecosistemas que pueden ser de mantenimiento (ej.: formación de suelos, disminución de la erosión, conservación y mantenimiento de la biodiversidad), de aprovisionamiento (ej.: agua para consumo humano o para riego, material genético), de regulación (ej.: captura de carbón, disminución de gases, purificación del agua) y culturales (belleza escénica o ecoturismo, servicios recreativos, espirituales, herencia cultural).

Mantener la generación de servicios ecosistémicos es una preocupación de muchos ciudadanos y políticos. En este artículo se hace una revisión acerca de las intervenciones que permiten mantener o recuperar los servicios ecosistémicos relacionados con el manejo de los recursos hídricos.

## LOS ECOSISTEMAS DE SERVICIOS Y EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios son numerosos y variados, e incluyen servicios que mejoran la calidad de la tierra, el aire y el agua.

El agua, la madera, las sustancias medicinales, son ejemplos de bienes ambientales; son productos de la naturaleza directamente aprovechados por el ser humano. En cambio, los servicios ambientales son aquellas funciones de los ecosistemas que generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades (HUETING et al. 1998).

Los servicios ambientales ni se transforman ni se gastan en el proceso de utilización del consumidor, esta es su característica principal que los distingue de los bienes ambientales, utilizados como insumos en los sistemas productivos, en cuyo proceso se transforman y se agotan.

El concepto de Servicios Ambientales (SA) es relativamente nuevo y su aplicación y desarrollo se mantiene en un gran debate respecto a la manera en que pueden afectar positiva o negativamente a los ecosistemas y las comunidades.

Los SA para el caso de la regulación hídrica y calidad del agua, están relacionados con los recursos hídricos que la sociedad aprovecha para satisfacer sus necesidades (abastecimiento municipal, industrial, generación hidroeléctrica, suministros para riego, etc.).

La regulación hídrica se produce cuando un ecosistema es capaz de manejar o controlar el agua con relación al tiempo, es decir, cuando es capaz de almacenar agua en los periodos lluviosos y de liberarla paulatinamente o reguladamente en los periodos de estiaje, tratando de mantener un equilibrio en los caudales de los periodos húmedos y secos (Logreira, 2009).

Según lo antes expuesto, los SA de regulación hídrica que presta una cuenca están concentrados tanto en la cantidad de agua que se presenta a lo largo del año (especialmente en la temporada de estiaje), como en la cantidad de agua que genera la cuenca debido a eventos torrenciales (reducción de los picos de las crecientes); este SA está fuertemente ligado al uso de la tierra y las prácticas de manejo, y el PSA acude directamente al uso de la tierra con el fin de mantener o mejorar este SA y por lo tanto, con el cambio en los procesos biofísicos (inducidos por el cambio de cobertura o uso del suelo) que controla el ciclo hidrológico también cambian los SA. (Logreira, 2009).

Ante la fuerte degradación de los recursos, los fenómenos del cambio climático y especialmente, ante los pronósticos de una futura escasez de agua en muchas

regiones, se han buscado y se están buscando nuevas formas de financiamiento para impulsar la conservación. Son mecanismos de compensación o pago, o retribución por la generación de servicios ecosistémicos, en los cuales los demandantes o beneficiarios de los servicios cubren los costos que genera el cambio de uso del suelo en las cuencas altas o en los proyectos de fijación del carbono.

La falta de inversión en protección y manejo de los bosques y otros recursos naturales conlleva el agotamiento de la cobertura vegetativa natural y de los suelos, el deterioro de cuencas y la extinción de especies. Estos efectos, frecuentemente, derivan en considerables pérdidas económicas y sociales.

Los instrumentos económicos y de mercado han sido utilizados por varias décadas en la prevención de la contaminación y la conservación de los ecosistemas. La mayor parte de ellos tratan de prevenir externalidades ambientales negativas (por ejemplo la contaminación o la destrucción del hábitat) por medio de impuestos o derechos ecológicos, y otras herramientas sustentadas en el principio de que "el que contamina, paga".

En la década de los 90, los nuevos enfoques se centraron en el reconocimiento de la generación de externalidades ambientales positivas a través de los incentivos económicos, en su mayor parte relacionados con subsidios u otro tipo de programas ambientales. Entre estas nuevas herramientas, el pago por servicios ambientales está recibiendo creciente atención por su potencial en la sustentabilidad social, económica y ambiental (Encalada, 2006).

Un medio para solucionar los problemas en el deterioro de los recursos naturales son los sistemas de pago por servicios ambientales (PSA). Este tiene en cuenta la parte del servicio ambiental que tiene valor de mercado.

El pago por servicios ambientales (PSA) es un mecanismo de compensación económica a través del cual los beneficiarios o usuarios del servicio hacen un pago a los proveedores o custodios del servicio. Los servicios ambientales involucrados pueden ser muy concretos, tales como un caudal constante de agua dulce, la disminución de la erosión y sedimentación o el aprovisionamiento previsible de leña. En otros casos los servicios ambientales pueden ser algo más abstractos o referirse a un ámbito global: captura del carbono o belleza escénica, por ejemplo (Moreno y Renner, 2007).

Los PSA normalmente involucran la implantación de mecanismos de mercado para la compensación a los propietarios de tierras aguas arriba con el fin de mantener o modificar un uso particular del suelo que afecta la disponibilidad y/o calidad del recurso que se quiere conservar o gestionar.

Usualmente, esta compensación proviene de pagos por parte de los usuarios del agua aguas abajo. La idea fundamental de los sistemas de PSA es crear un mercado para un bien ambiental que habitualmente no tiene una estimación comercial. Desde el punto de vista económico, los sistemas de PSA requieren la asignación de derechos de propiedad de jure o de facto sobre las externalidades ambientales que causan beneficios a terceros (servicio ambiental). Es decir, el sistema parte de la identificación

de agentes económicos responsables de la externalidad ambiental «positiva» o «proveedores» del servicio y de los agentes beneficiados (o usuarios). En el caso de cuencas, requiere el establecimiento de relaciones causales entre el uso de la tierra -aguas arriba- y las condiciones del recurso hídrico -aguas abajo. Adicionalmente, los sistemas de PSA pretenden establecer un flujo de información entre los proveedores y usuarios, de manera que pueda surgir un intercambio de mercados entre ambos tipos de agentes (FAO, 2004).

El esquema de PSA es un acuerdo voluntario y negociado, no una medida de mando y control. Los proveedores potenciales de servicios deben tener opciones reales de uso de la tierra, entre las cuales el servicio proveído no es el uso preferido. De igual manera, se debe definir claramente lo que se está comprando, para este caso cantidad de agua en tiempo de estiaje, reducción en la sedimentación, reducción en los picos de las crecientes, etc. (Logreira, 2009).

Es importante señalar que el pago no necesariamente debe expresarse como una operación monetaria, pues también puede traducirse en una mejora de infraestructura (caminos, reservorios de agua, etc.), servicios (postas médicas, escuelas, etc.) o extensión rural (talleres, equipamiento, semillas, etc.). El mecanismo de compensación puede variar desde un pago periódico directo a los proveedores individuales hasta el establecimiento de un fondo fiduciario manejado por un directorio con participación de los proveedores, los usuarios, el sector privado, la sociedad civil y el estado.

El diseño de un esquema de PSA requiere de análisis biofísicos, socioeconómicos e institucionales. Sin estos análisis es difícil hacer un buen diseño.

Los esquemas de PSA, según Moreno y Renner (2007), constituyen un instrumento valioso para:

- Lograr la sostenibilidad de los recursos naturales en las cuencas.
- Vincular los actores de los diferentes espacios que comprende la cuenca.
- Facilitar la pedagogía de la sostenibilidad de los recursos naturales y del manejo integral de cuencas.

Según Logreira (2009), un esquema de pagos por servicios ambientales (PSA) para la regulación hídrica o calidad del agua, comprendería 4 pasos fundamentales: El primero, contiene el **análisis biofísico** de la cuenca, donde se hace una recolección de la información hidrometeorológica de la cuenca (precipitación, evaporación, caudales, humedad relativa, brillo solar, etc.), también información de cobertura vegetal, pendientes y tipos de suelo.

El segundo paso estaría compuesto por los **inventarios de los usuarios** del SA. y sus respectivas concesiones o cantidades de agua utilizadas (para el caso de la regulación hídrica), al igual que la identificación de los “proveedores” del SA., sus prácticas y posibles mejoras.

En el tercer paso estaría la **implementación de un modelo hidrológico** que relacione el uso y/o la cobertura del suelo con el SA., con la ayuda de este se apoyaría para la toma de decisiones para el mantenimiento o la mejora de los SA en la cuenca.



Finalmente, con el fin de comprobar la eficacia de las acciones realizadas, se plantea un **monitoreo**, que inicialmente estaría enfocado a las acciones sugeridas a los "proveedores" del servicio y luego específicamente al SA.

En América Latina, la mayoría de las aún contadas iniciativas de pagos o compensaciones por servicios ambientales se han concentrado en esquemas relacionados con la calidad y el aprovisionamiento de agua dulce en cuencas hidrográficas. Ejemplos de pequeñas iniciativas en proyectos de PSA a nivel local se encuentran en Perú, Costa Rica, Colombia, México, Nicaragua, Honduras y El Salvador, enfocados en la conservación del agua a partir de la gestión de los recursos hídricos.

En la actualidad, gran parte de los proyectos de PSA utiliza en sus metodologías la incorporación de modelos hidrológicos predictivos capaces de relacionar los cambios de cobertura con el SA. Entre los más utilizados en diferentes aplicaciones se encuentran los modelos SWAT, MIKE-SHE, WEAP y HEC-HMS.

### **EL MODELO WEAP (*WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM*), UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.**

El agua es un recurso vulnerable y finito, esencial para la conservación de la vida, el desarrollo y el medio ambiente, con gran valor social y económico en todos sus usos, los que pueden ser diferentes: para la agricultura, los ecosistemas saludables y los seres humanos y su sustento. En este contexto, la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados permiten maximizar, de manera equitativa, el bienestar social y económico resultante, sin comprometer la sostenibilidad del medio ambiente.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) como "un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas".

Operativamente, el enfoque de GIRH involucra la aplicación del conocimiento de diversas disciplinas, así como las perspectivas de diversos actores para elaborar e implementar soluciones eficientes, equitativas y sostenibles a los problemas hídricos y de desarrollo. Por lo tanto, la GIRH es una herramienta para el desarrollo y la gestión del agua, de forma que hace un balance de las necesidades económicas y sociales y asegura la protección de los ecosistemas para las generaciones futuras.

El agua tiene muchos y muy diversos usos - para la agricultura, para los ecosistemas saludables, para las personas y su sustento- que demandan una acción coordinada. Un enfoque de GIRH es un proceso abierto y flexible que une a tomadores de decisión de diversos sectores que repercuten en el recurso hídrico, y trae a todos los actores a la mesa para establecer políticas y decisiones balanceadas en respuesta a los retos hídricos enfrentados.

Existen numerosos modelos para llevar a cabo el análisis de las cuencas, que simulan la respuesta parcial o global de una cuenca ante una determinada entrada de agua, ya sea por vía de la precipitación, la fusión nival o los aportes subterráneos, y de las demás características de los recursos naturales. Los objetivos que se persiguen son de diagnóstico y/o de pronóstico sobre las relaciones entre las diversas variables involucradas en el modelo.

Entre los diversos tipos de modelos hidrológicos se encuentran los destinados a la gestión de los recursos hídricos. Estos se centran más en el uso de los recursos, considerando la disponibilidad, la demanda, y el manejo del agua (reglas de uso, infraestructura disponible, competencia por los recursos por los diferentes usos, etc.). Son, por tanto, útiles para el soporte a los gestores del agua, para simular los efectos de diferentes medidas de manejo. La mayoría de estos modelos tienen ya interfaces de usuario avanzadas que permiten su uso por personas sin un perfil técnico hidrológico como WEAP.

El modelo WEAP, fue creado en 1988 por Jack Sieber, con el patrocinio de Stockholm Environment Institute (SEI). Se trata de un modelo de planeamiento integrado del recurso hídrico, que opera bajo el modelo de balance hídrico y puede ser aplicado a los sistemas agrícolas y municipales, a cuencas pequeñas o grandes. El modelo tiene la capacidad de simular procesos como: lluvia escorrentía, flujo base, recarga subterránea, etc. De igual manera, tiene capacidad para hacer análisis sectoriales, de conservación de agua, derechos de agua, operación de embalses, generación hidroeléctrica, rastreo de contaminantes, calidad de agua, valoración de vulnerabilidad y mantenimiento de los requerimientos de los ecosistemas, también cuenta con un módulo de análisis financiero que permite hacer comparaciones beneficio-costos de diferentes proyectos o alternativas y explorar escenarios alternativos de largo alcance.

Las aplicaciones de este programa requieren información como: el tiempo de simulación, fronteras espaciales de la simulación, etc. Por ser un modelo de planeamiento, es capaz de considerar alternativas de desarrollo y valorar los efectos en las políticas, costos, hidrología, abastecimientos municipales e industriales y el clima.

El modelo trabaja con el balance de masa a nivel mensual, el agua es despachada para cumplir con los requerimientos de consumo, sujeto a demandas prioritarias. Se puede elegir entre tres métodos de simulación para procesos, como escorrentía, infiltración e irrigación, en dependencia del nivel de complejidad que se requiera.

La primera aplicación importante de WEAP se realizó en la región del Mar de Aral, en 1989. A través de los años, WEAP se ha aplicado en muchos países y cuencas. El software ha sido transferido a planificadores de recursos hídricos alrededor del mundo.

El desarrollo de un modelo WEAP incluye generalmente las siguientes etapas: (UC y SEI, 2009)

1. Definición del estudio: En esta etapa se establecen el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.
2. Búsqueda de información: En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido. Esta etapa puede ser iterativa, y generalmente se realiza en dos partes: una etapa de recolección de datos generales, y una etapa de



recolección de datos específicos una vez que se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.

3. Desarrollo del modelo: En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se efectúan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y eliminar posibles inconsistencias y errores.

4. Calibración: Aquí se desarrolla una caracterización de la oferta y demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema.

5. Uso del modelo, generación de escenarios: Una vez que el modelo está calibrado, se pueden explorar los impactos que tendrían una serie de supuestas alternativas sobre las políticas futuras, costos, y clima, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua, hidrología y contaminación.

### APLICACIONES DEL MODELO WEAP EN ALC

Según Escobar et al., (2011) existen diferentes aplicaciones del modelo WEAP en ALC, algunas de ellas también realizadas por *Stockholm Environment Institute-U.S. Center* (SEI), disponibles en su sitio web<sup>1</sup> y otras que se encuentran en ejecución actualmente. La mayoría de estos proyectos se relacionan con la agricultura a gran escala y la generación de energía hidroeléctrica. Los estudios en la agricultura reflejan uno de los mayores crecimientos en la producción de biocombustibles del mundo en respuesta al incremento de la demanda de energía. Este análisis indica que en América Central y el Caribe las áreas agrícolas dedicadas a cultivos para biocombustibles probablemente competirán con otras áreas agrícolas y otros usuarios del agua en un crecimiento futuro y en escenarios de cambio climático. En este contexto, la plataforma de WEAP provee un buen entorno para evaluar las medidas de adaptación al cambio climático en una escala local o en cuencas hidrológicas.

A continuación, se da una pequeña descripción de las aplicaciones por país y año o periodo de ejecución:

#### **Brasil: Cuenca del río San Francisco. 2004-2008.**

Planificar y valorar conjuntos de pequeños embalses multiusos para la mejora de los medios de vida y seguridad alimentaria del pequeño agricultor: herramientas y procedimientos: Este proyecto incluyó trabajar en el cuenca del río Sao Francisco (Brasil), la cuenca del río Volta (Ghana), y la cuenca del río Limpopo (Sur de África), en la planificación y evaluación de los pequeños embalses, multiusos para la mejora de los medios de vida y la seguridad alimentaria del pequeño agricultor. Decenas de miles de comunidades rurales en África y América Latina dependen del agua de los pequeños reservorios multiusos para sus familias, ganados y planes de irrigación. En colaboración con los actores locales y regionales, se encuentran en proceso de desarrollar herramientas para el análisis y diseño de pequeñas represas, mejorar los métodos para el análisis institucional, financiero, y económico, y desarrollar la confianza en un enfoque de base científica para planificar sistemas de represas. Basándose en este fundamento, las personas responsables de adoptar decisiones en la cuenca y a escala nacional, junto con las comunidades locales, colaborarán para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del suministro de agua local y el flujo adecuado río abajo. Las represas bien ubicadas y multifuncionales, que hacen el agua asequible a los pequeños agricultores, son esenciales, ya que permiten que los pequeños

---

<sup>1</sup> <http://www.weap21.org>

agricultores se den cuenta de los objetivos finales de incrementar la producción de alimentos, reducir la pobreza, asegurar la salud humana y mejorar los medios de vida rurales.

### **Chile 2008-2009.**

Cuenca Limari, Chile: modelo desarrollado para calcular los impactos del cambio climático sobre una cuenca dominada por el deshielo de la nieve y semiárida.

Implementación y uso del modelo WEAP en cuencas nivales de la IV Región para el análisis del cambio climático. El objetivo del presente estudio radica en analizar el efecto del cambio climático mediante el modelo WEAP en los recursos hídricos de la cuencas nivales Elqui en Algarrobal y Hurtado en San Agustín, ubicadas en la IV Región de Coquimbo.

### **Cuenca Huasco, Chile, 2012**

Modelación de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Huasco. Elaborar un modelo de distribución de recursos hídricos en la cuenca del río Huasco sobre la plataforma WEAP, para la simulación de la oferta y demanda de agua en la cuenca, bajo escenarios de implementación de caudal ambiental y evaluación de su impacto en los usuarios de agua en la cuenca.

### **Ecuador, 2009**

Cuenca de Paute, Ecuador: el modelo se desarrolló para una cuenca con la finalidad de generar el 50 % de la electricidad en el país. Utilizado para la evaluación del impacto del cambio climático.

Cuenca (Alta y Media) del río Pastanza, Ecuador: Se aplica el modelo WEAP con el objetivo de conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Pastanza, ubicada en la región Amazónica Andina. Este permitió pronosticar los cambios en la disponibilidad de agua en función de los escenarios de cambio climático planteados en el trabajo. El proyecto se desarrolló de manera conjunta entre la Escuela Politécnica Nacional (EPN), el Municipio de Pastanza y el programa GLOWS (Global Water for Sustainability Program).

### **Perú 2008-2009**

Adaptación para la gestión del agua en la pérdida de los glaciares en los Andes de Perú: este proyecto se concentra en la evaluación de los cambios potenciales en las cuencas hidrográficas de la Cordillera de los Andes en Perú relacionados con la pérdida de los glaciares debido al cambio climático. Se están realizando acciones para desarrollar un módulo dentro de WEAP que represente la evolución de los glaciares en diferentes escenarios climáticos futuros. Este módulo será utilizado para desarrollar las aplicaciones de WEAP en tres cuencas hidrográficas peruanas: el Santa; el Rimac; y el Mantaro. Estas aplicaciones serán corridas utilizando escenarios de clima desarrollados en la región para investigar las implicaciones del manejo del agua en la pérdida de los glaciares y las posibles adaptaciones en la gestión del agua.

### **La cuenca del Río Santa, Perú**

Se desarrolló en el marco del proyecto: Evaluación de Impactos de Cambio Climático en Hidrología de Montañas: Desarrollo de una Metodología a través de un Estudio de Caso en Perú, patrocinado por el IRD, SEI-US, Banco Mundial. El modelo WEAP del

Río Santa incluye la modelación de la hidrología de la cuenca y la inclusión de un módulo de modelación glaciar dentro de WEAP.

### **Río Rimac, Perú**

Gestión Integrada del recurso agua para agua potable en Lima Metropolitana: Este estudio corresponde al modelado del sistema complejo del agua, incluyendo la cuenca del río Rimac, la Mantaro superior, el río Chillón, y el río Lurín y la infraestructura para la colecta, almacenamiento y distribución disponible. El propósito es analizar y evaluar el rendimiento del sistema de agua actual y futuro con la incorporación de nuevas fuentes de agua para el suministro de agua que cumpla los requisitos del agua potable para Lima metropolitana, a corto, mediano y largo plazos.

### **Cuenca del río Chicama, Perú**

Estudio de los recursos de aguas superficiales en la cuenca del río Chicama: Este estudio ha sido desarrollado para cubrir los siguientes objetivos: 1) simular la cuenca hidrológica como un todo, 2) definir localidades de almacenamiento en la cuenca para determinar la disponibilidad del agua en los reservorios y los volúmenes probables que podrían ser represados, 3) implementar un modelo de balance de agua y la simulación hidrológica que permita actualizarlo para propósitos de manejo, 4) implementar un modelo de simulación que considere los volúmenes transferidos del río Santa que serán usados en proyectos especiales de CHAVIMOCHIC y de CHINECAS y 5) para valorar cuantitativamente la disponibilidad y demanda de agua, estableciendo el balance de agua del potencial de agua en la cuenca. El futuro ha sido cuantificado y valorado teniendo en cuenta la disponibilidad del agua en la cuenca para cuatro escenarios: a) el escenario actual, b) el escenario actual más el agua subterránea, c) el escenario actual más el agua subterránea y los volúmenes de Chavimochic (volúmenes transferidos del río Santa), y e) escenario actual, agua subterránea y los reservorios en la cuenca hidrológica.

### **El sistema Chira – Piura, Perú**

Evaluar el impacto de la introducción de los cultivos de bioenergía sobre la disponibilidad de recursos de agua en el sistema Chira - Piura, Perú: El estudio evaluó la sostenibilidad del recurso agua para la expansión de la agricultura (demanda de agua agrícola), debido a la incorporación de cultivos energéticos para la producción de biocombustibles (bioetanol) en el valle de Chira. La evaluación estuvo basada en cuatro escenarios, que cambió básicamente en la demanda y disponibilidad de agua en el valle del río Chira. Estos escenarios fueron descritos y evaluados con respecto a los impactos del punto de vista de la confiabilidad del sistema, la cobertura de la aplicación, y la vulnerabilidad del sistema. Ellos fueron: Escenario 1 - con referencia a la situación actual; Escenario 2 - con aumento de áreas de caña de azúcar; Escenario 3 - con aumento de áreas de sorgo; y Escenario 4 - con aumento de áreas de caña de azúcar y de los cultivos de los agricultores. La simulación del sistema y la valoración de la confiabilidad fueron dirigidas usando el modelo de WEAP. El análisis utilizó un enfoque integrado, considerando ambos el suministro y la demanda de agua. Proporcionó una base para evaluar la asignación del recurso agua limitado entre los usos agrícola, municipal, industrial y ambiental. Bajo las condiciones actuales, la previsión del agua no fue encontrada suficiente agua disponible para respaldar la introducción de un proyecto de 23 976 Ha adicionales para la producción de caña de azúcar en el valle de Chira para la producción de bioetanol. El suministro actual del agua solamente sería adecuado para respaldar 10 000 Ha adicionales para la producción de caña de azúcar en el valle. Los resultados demostraron la necesidad

urgente de la gestión de los recursos de la tierra y del agua para los valles de Chira y Piura. Además, la mejora en el productividad de agua (0.7 kg de arroz por m<sup>3</sup> de agua (situación actual), y 1.34 por kg de todos los cultivos en el valle) podría ser posible, permitiendo un aumento en la producción de alimentos con el mismo volumen de agua y la misma área cultivada.

### **El sistema Colca Siguas, Perú**

Actualización del estudio del balance de agua del sistema Colca Siguas para la renovación, entre otros: Este estudio evaluó la disponibilidad del agua en el sistema Colca con el propósito de sustentar la gestión del agua en los embalses. La evaluación está basada en el balance hidrológico del sistema de Colca teniendo en cuenta la demanda agrícola de Pampa de Majes (23,000 ha) y Pampas de Siguas (38,000 ha) y la demanda de energía (400 MW) de las centrales hidroeléctricas Tarucani, Lluta, y Lluclla. El balance es evaluado con la confiabilidad del sistema, la cobertura de la demanda y vulnerabilidad del sistema. Los resultados indican que puede servir hasta 1.070 Hm<sup>3</sup> de la demanda agrícola, con una confiabilidad de 75 %. La disponibilidad del sistema Majes Siguas es 1101.36 Hm<sup>3</sup> (107.68 Hm<sup>3</sup> de la cuenca de Siguas, 698.76 Hm<sup>3</sup> del Colca y 294.92 Hm<sup>3</sup> de la cuenca de Apurímac), para los usos agrícolas y las demandas municipales. Para el uso de energía en las centrales hidroeléctricas de Lluta y Lluclla, hay disponible un volumen anual de hasta 993.7 Hm<sup>3</sup>.

### **La Cuenca del Río Pampas, Perú. 2010**

Se ejecutó el proyecto, "Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Pampas". El objetivo del estudio, es Evaluar, cuantificar y simular el comportamiento de los recursos hídricos en cantidad y oportunidad de la cuenca del río Pampas, estableciéndose el balance hídrico a nivel de cuenca. Esta proporciona los elementos de juicio hidrológicos necesarios para la toma de decisiones con vistas al mejor aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Pampas, en el marco del desarrollo sustentable de los recursos hídricos.

### **Colombia: Cuenca Alta del Río Chinchina, 2010**

Una aplicación de WEAP fue desarrollada para definir los índices de escasez en la definición de suministro de agua y la demanda, uniendo esta información de implementar la aplicación de la gestión integrada del recurso agua en la cuenca superior del río Chinchina. Los objetivos específicos que fueron alcanzados son: a) establecer el suministro y la demanda de agua, b) analizar el balance de agua en los puntos de control definidos, c) elaborar una propuesta de distribución de flujo de las corrientes y las acciones a tomar, d) efectuar el desarrollo y la operación del modelo, y e) definir los escenarios de gestión del crecimiento y la expansión de la población, suministrando servicios públicos del agua en la área de estudio. Los resultados del modelo consisten en que el sistema no puede garantizar la disponibilidad del agua para cubrir la demanda en el crecimiento municipal o los flujos ambientales en los ríos durante los diferentes períodos de sequía lo cual es un comportamiento típico característico de la región Andina.

### **Colombia: Cuenca de los Ríos Barbas, Cestillal y Consota. 2010.**

Una aplicación de WEAP fue desarrollada para definir la gestión integrada del recurso agua para las cuencas de los ríos Barbas, Cestillal, y Consota. El objetivo de esta aplicación fue desarrollar un modelo para suministrar un marco de trabajo exhaustivo, flexible y fácil de usar para la planificación y apuntó el análisis de la política para una

gestión del recurso agua eficiente. Los pronósticos del modelo son que todo el sistema está bajo presión y no puede asegurar la demanda de agua municipal ni los flujos ecológicos la mayor parte del tiempo.

#### **Cuba, 2013-2015**

En el marco del proyecto “Bases ambientales para la sostenibilidad alimentaria local (BASAL)”, y en estrecha colaboración entre la parte cubana del proyecto y el Centro de Investigaciones Conjuntas (*Joint Research Center (JRC)*) de la Comisión Europea, se está desarrollando un sistema de modelación para la gestión del agua (MASPA), cuyos objetivos consisten en mejorar el conocimiento de los impactos de la variabilidad del clima y los cambios en el uso de la tierra sobre la disponibilidad de los recursos hídricos y la producción de alimentos, y proveer de una herramienta de ayuda a la gestión de los recursos hídricos, a fin de garantizar la producción sostenible de alimentos. Para desarrollar dicho sistema de modelación se está utilizando el modelo WEAP. En su primera fase, el proyecto trabaja en tres municipios de intervención: Güira de Melena, Los Palacios y Jimaguayú, donde sus actividades fundamentales están dirigidas a la producción de arroz, cultivos varios y la ganadería, respectivamente, aspectos claves en la producción nacional de alimentos.

#### **República Dominicana, 2007**

La cuenca de Haina, República Dominicana: el modelo se desarrolló para la sesión del taller de entrenamiento de WEAP.

La cuenca Yaque Sur, República Dominicana: fue desarrollada una aplicación de WEAP para la cuenca del río Yaque del Sur, para respaldar al Programa Hidrológico Nacional. Esta aplicación es una evaluación integrada para representar los principales sitios de demanda de agua en la cuenca, incluyendo la agricultura y los usuarios urbanos. Entre la infraestructura modelada existe una represa para el uso de la agricultura y una serie de canales que entregan el agua a los sitios de demanda dentro y fuera de la cuenca hidrológica. Se modelaron dos escenarios, uno representando un incremento en la demanda de agua en la agricultura debido al aumento en áreas de irrigación, y uno que representa la puesta en práctica de una nueva represa en la cuenca.

#### **Guatemala, 2007**

Las cuencas de San José y El Naranjo, Guatemala: Se desarrollaron los modelos para calcular la vulnerabilidad del cambio climático como parte del proyecto financiado NCAP.

#### **México, 2004**

La planificación del agua en México: WEAP se tradujo al español y se usó para la planificación integrada del recurso agua en algunas cuencas de ríos en México.

#### **Cuenca del Río San Juan, México, 1993-1994**

El agua y el medio ambiente en el río San Juan: WEAP se utilizó en una evaluación integrada del recurso agua en la cuenca del río San Juan en México, incluyendo el centro industrial de Monterrey. El estudio incluía el desarrollo de un balance del suministro y la demanda para la cuenca hidrológica y la identificación de alternativas de estrategias de desarrollo del agua y sus implicancias ambientales. El análisis también calculó el coste verdadero del agua en la región, reflejando costes de oportunidad, costes marginales, y costes de carencia.



### **Cuenca del Río Grande / Bravo, México - los Estados Unidos**

El proyecto de evaluación física: El proyecto de "Evaluación física" comprende un consorcio de universidades de los EE.UU. y mejicanas, NGOs y agencias gubernamentales para analizar las alternativas de gestión del agua para el sistema Río Grande / Bravo que responden a la presión creciente sobre este importante recurso. El proyecto consiste en crear y utilizar en "toda la cuenca" el modelo de planificación hidrológica del sistema de río compartido para permitir que tanto los gestores públicos del agua como los privados y los actores identifiquen el rango de las mejoras en la gestión del sistema que es hidrológicamente viable y mutuamente beneficioso para los actores afectados en toda la cuenca. Las alternativas que aprueben esta prueba estarán sujetas al análisis de viabilidad económica, legal e institucional en las fases siguientes del proyecto. Las alternativas que aparecen representarán los "Éxitos" claros para la futura aplicación <http://www.riogrande.org>

### **Cuenca del río Jiboa, El Salvador 2007**

Se definió el comportamiento hidrológico del sistema de la cuenca del río Jiboa, con la aplicación del modelo WEAP, de forma que facilite la elaboración del plan de manejo de los recursos hídricos frente a la inminente influencia del cambio climático.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

En ALC se observan avances importantes en la aplicación del concepto de Bioeconomía, sobre todo en el sector de los servicios ambientales de regulación hídrica y calidad de las aguas. En este contexto, la región ofrece un gran potencial en este recurso lo que implica la posibilidad de reorientar las economías hacia un manejo sostenible de los recursos hídricos.

La implantación de mecanismos de PSA constituye una de las vías para lograr la sustentabilidad y conservación de los recursos hídricos con la creciente demanda y las restricciones en la disponibilidad y calidad de las aguas en algunas regiones de ALC que se pronostican con el cambio climático. De esta forma, el PSA constituye una novedad que va cambiando a partir de reconocer la importancia de valorar los recursos naturales. En ello se necesita intensa investigación multidisciplinaria para evaluar la influencia de los factores hidrológicos, geográficos y biológicos, conjuntamente con los socioeconómicos, es decir tomando en cuenta no solo los aspectos comerciales de un esquema de PSA sino todos los aspectos relacionados con la regulación y conservación de este recurso.

En ALC ante las nuevas perspectivas de desarrollo y crecimiento de la población unido al nivel de vulnerabilidad de los ecosistemas con el impacto del cambio climático, la gestión de los recursos hídricos constituye uno de los retos ambientales más importantes que enfrentaremos en este siglo. Una técnica de gran utilidad son los modelos de predicción como herramientas para la gestión de los recursos hídricos, de gran aplicación en la actualidad, que dinamizan la caracterización biofísica y la construcción de escenarios de pronóstico y permiten el diseño de políticas y la toma de decisiones.

En este trabajo se muestran diversos ejemplos de estudios y proyectos sustentables realizados y en ejecución utilizando el modelo WEAP; los cuales se relacionan con la agricultura a gran escala y la generación de energía hidroeléctrica en la región de Latinoamérica.

## REFERENCIAS

Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. (2009). Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada con contribuciones del PACC (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador), Ministerio del Ambiente de Ecuador, y PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo) de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Disponible en: <http://www.weap21.org/index.asp?action=40>

Encalada, G. R. (2006). Pago por Servicios Ambientales (PSA) del Recurso Hídrico como una Alternativa de Conservación. Tesis de Maestría. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales – FLACSO, Quito – Ecuador. Disponible en: <http://flacsoandes.org/dspace/bitstream/10469/234/4/TFLACSO-01-2006GLER.pdf> y <http://flacsoandes.org/dspace/bitstream/10469/234/3/TFLACSO-02-2006GLER.pdf>

Escobar, M., Flores, F. L. and Clark, V. (2011). Energy-Water-Climate Planning for Development Without Carbon in Latin America and the Caribbean. Stockholm Environment Institute-U.S. Center. Disponible en: [www.sei-us.org](http://www.sei-us.org) and [www.sei-international.org](http://www.sei-international.org)

FAO. (2004). Payment Schemes for Environmental Services in Watersheds - Sistemas de Pago por Servicios Ambientales en Cuencas Hidrográficas. LAND AND WATER DISCUSSION PAPER 3. Foro regional, 9-12 de junio de 2003, Arequipa, Perú. ISSN 1729-0554. Roma, 2004. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y5305b/y5305b00.htm>

Hueting, R., Lucas Reijnders, Bart de Boer, Jan Lambooy, Huib Jansen (1998). "The concept of environmental function and its valuation". Ecological Economics, 25(1), 31-35. Disponible en: <http://dare.uvu.vu.nl/bitstream/handle/1871/31916/111777.pdf?sequence=1>

Logreira A. R. (2009). Metodologías técnicas en el ámbito biofísico para la determinación y monitoreo de los servicios ambientales relacionados con regulación hídrica y control de sedimento, y su relación con el uso del suelo. Convenio de Asociación No. 116 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) – Patrimonio Natural-Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, Republica de Colombia. Disponible en: [http://www.patrimonionatural.org.co/cargaarchivos/centroDoc/informe\\_regulaci%C3%B3n-h%C3%ADdrica.pdf](http://www.patrimonionatural.org.co/cargaarchivos/centroDoc/informe_regulaci%C3%B3n-h%C3%ADdrica.pdf)

Moreno Díaz, A.; Renner, I. (Editores). (2007). Gestión Integral de Cuencas, La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas. Centro Internacional de la

Papa (CIP), Perú, ISBN: 978-92-9060-297-2, 2007. Disponible en:  
[www.condesan.org/cuencasandinas](http://www.condesan.org/cuencasandinas)

OCDE. (2006). Scoping document: The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda, París, OCDE, 382-286l. Disponible en: <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>

Pavone, V. (2012). Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía. Revista CTS, nº 20, vol. 7, Abril de 2012 (pág. 145-161). Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cts/v7n20/v7n20a09.pdf>

Trigo E.J., Henry G., Sanders J., Schurr U., Ingelbrecht I., Revel C., Santana C., Rocha P. (2013). Towards bioeconomy development in Latin America and the Caribbean, Bioeconomy Working Paper No.2013-01. ALCUE KBBE. Disponible en: [http://www.bioeconomy-alcue.org/bioeconomy/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=156&view=finish&cid=162&catid=11&lang=es](http://www.bioeconomy-alcue.org/bioeconomy/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=156&view=finish&cid=162&catid=11&lang=es)