

Seguridad Hídrica en ALC: El Potencial Transformador de las Instituciones Académicas y la Colaboración con las Agencias Gubernamentales.

Eglis Chacón – Mauro Nalesso

Junio, 2025

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.	04
1.1	Centro de Soporete HydroBID: un soporte para la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.	05
1.1.1	Valor Agregado del CeSH.	05
1.1.2	Servicios del CeSH.	06
2.	Objetivos	07
3.	La Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.	07
4.	Marco Conceptual.	12
5.	La Contribución de las Instituciones de Educación Superior IES a la Ciencia y la Tecnología.	16
5.1	Centro de Soporete HydroBID: un soporte para la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.	20
	Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) y su red de Cátedras UNESCO.	24
	Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible.	24
	Centro Regional de Seguridad Hídrica de la UNAM.	
	Red para América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua (RALCEA).	24
	Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (LA-WETnet).	24
6.	Experiencia y Lecciones aprendidas.	25
6.1	Caso 1 : Centro Interamericano de Desarrollo, Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT)	
	Universidad de los Andes - Venezuela.	25

Contenido

6.1.1	Descripción de la Iniciativa.	25
6.1.2	Buenas Prácticas.	26
6.1.3	Desafíos Observados.	27
6.2	Caso 2 : Universidad Naciaonal de Itapúa – Paraguay.	27
6.2.1	Descripción de la Iniciativa.	27
6.2.2	Buenas Prácticas Identificadas.	28
6.2.3	Desafíos.	28
6.3	Caso 3 : Universidad Naciaonal Litoral– Argentina.	29
6.3.1	Descripción de la Iniciativa.	29
6.3.2	Buenas Prácticas Identificadas.	30
6.3.3	Desafíos.	30
7.	Oportunidades de Cooperación con el Sector Privado.	33
7.1	Modelos Innovadores de Colaboración Pública-Privada para transformar la Gestión del Agua.	33
7.2	Casos de referencia que demuestran un impacto transformador en la región 31.	35
7.2.1	RALCEA.	35
7.2.2	Ecuador, Educación intercultural sobre el agua.	36
8.	Vias para Reforzar la Colaboración.	37
9.	Desafíos y Consideraciones.	38
9.1	Barreras Institucionales y Normativas	38
9.2	Financiamiento y Sostenibilidad	39

Contenido

9.3	Adaptación al cambio climático	40
10.	Recomendaciones.	42
10.1	Instituciones de Educación Superior	42
10.2	Agencias Nacionales	44
10.3	Sector Privado y Organismos de Cooperación	46
11.	Referencias.	48

Figuras

Figura 1.	Oportunidades de Innovación en Seguridad Hídrica para la Región ALC. Fuente (Bretas et al 2020).	14
Figura 2.	Gastos de Investigación y Desarrollo como porcentaje del PIB por región.	17
Figura 3.	Composición del gasto en investigación y desarrollo por fuente de financiamiento en porcentaje 2021.	18
Figura 4.	Publicaciones Científicas de las Universidades en SCOPUS y Publicaciones Científicas en SCUPUS versus la Participación % de las Universidades.	19

Tablas

Tabla 1.	Iniciativas Colaborativas en la Región.	24
Tabla 2.	Tabla resumen de buena prácticas y desafíos observados de los casos de estudio.	32

1. Introducción

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ofrece asistencia técnica y financiera para proyectos de infraestructura en agua y saneamiento, irrigación, control de inundaciones, transporte y energía, muchos de estos proyectos dependen de los recursos hídricos y pueden verse afectados negativamente por el cambio climático y otros eventos que alteren la disponibilidad de agua, tal como el crecimiento demográfico y cambios en el uso de los suelos asociados con la urbanización, crecimiento industrial y la agricultura. Evaluar el potencial de cambio futuro en la disponibilidad de agua, y desarrollar una planificación acorde a este elemento, es un paso importante para garantizar que se cumplan con las metas operacionales, financieras y económicas. La planificación y la priorización de los proyectos son esenciales para construir lo que es realmente necesario y lo que genera mayores beneficios sociales (BID, 2020) y contribuir con el desarrollo territorial sostenible y resiliente.

El Banco considera importante también evaluar las implicaciones de tales proyectos en la distribución de los recursos hídricos disponibles entre los usuarios y los usos del agua que compiten entre sí, con el fin de mitigar potenciales conflictos y asegurar que los proyectos puedan satisfacer los planes de desarrollo regional de largo y mediano plazo, así como la preservación de los servicios esenciales de los ecosistemas.

Con el fin de ayudar a los países miembros del BID para abordar el desafío de disponibilidad de información suficiente y necesaria para una gestión de los recursos hídricos adecuada y sostenible, el BID ha desarrollado un conjunto de herramientas de simulación conocidas como HydroBID, integrado por 3 herramientas, 2 herramientas integradas para la planificación y gestión: HydroBID WAM (Water Assessment Model) y HydroBID ALLOC (Water Allocation Model), y una herramienta para la gestión, planificación del territorio y diseño de infraestructura: HydroBID Flood.

A través de estas herramientas se busca fortalecer las capacidades de gestión de los recursos hídricos y la toma de decisiones acertadas en cuanto al tema en ALC.

1.1 Centro de Soporte HydroBID: un soporte para la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.

En 2016 con el apoyo de la Fundación Pepsico el BID ha creado el Centro de Soporte HydroBID (CeSH) para brindar soporte técnico a los países miembros del BID con la finalidad de promover la Seguridad Hídrica (SH) al apoyar el fortalecimiento en la gestión integrada y planificación de los recursos hídricos, adaptación, mitigación y preparación ante eventos hidrológicos extremos y apoyar la preparación y ejecución de programas de inversión resilientes y sostenibles, en línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6: “Asegurar disponibilidad y manejo sostenible del agua y el saneamiento para todos” y el ODS número 13: “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, proveyendo herramientas, sistemas, soluciones analíticas, apoyo técnico y fortalecimiento institucional.

1.1.1 Valor Agregado del CeSH

Uno de los valores agregados del CeSH es su metodología de implementación y acompañamiento que lo hacen una iniciativa única a nivel mundial. El proceso de implementación guiada en donde los técnicos de las agencias y las academias implementan los proyectos con acompañamiento de consultores expertos garantiza la transferencia de conocimientos con un alto nivel técnico, adicionalmente los equipos de trabajo tienden a ser multisectoriales lo que impulsa la colaboración y las conversaciones miradas a la apertura de la disponibilidad de información y la creación de sistemas de información nacionales en lugar de sistemas de información sectoriales.

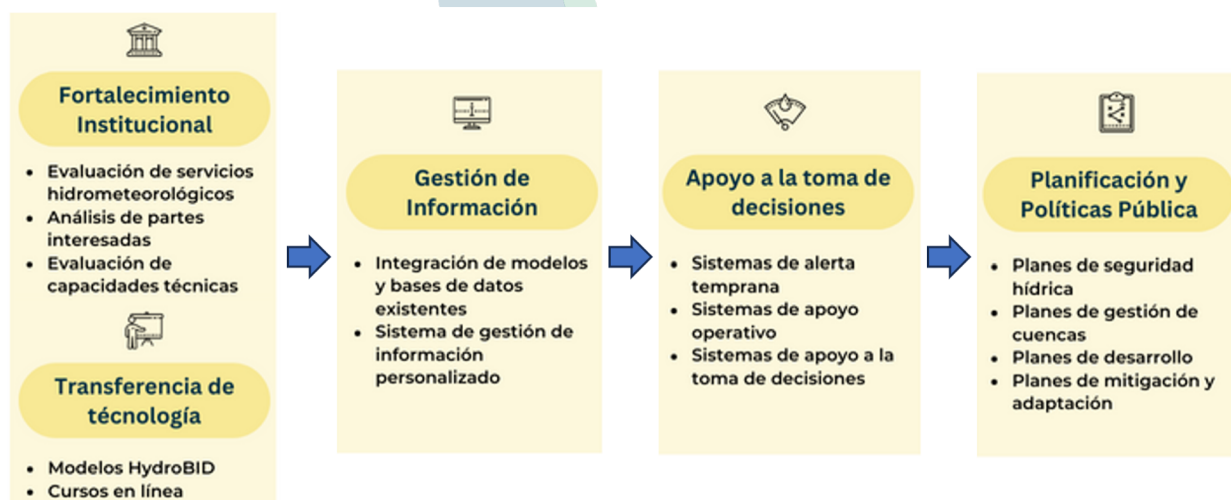
Adicionalmente, el CeSH ha creado la Comunidad de Prácticas (COP) para integrar a toda la comunidad de usuarios y promover el intercambio de experiencias y de capacidades técnicas. La COP cuenta con un número creciente de expertos certificados en el uso de las herramientas del CeSH, estos técnicos apoyan activamente todas las líneas de acción del centro. También la COP cuenta con un evento de carácter anual: el Encuentro de la Comunidad de Prácticas (ECOP), un espacio que propicia el intercambio de conocimientos y es el punto de encuentro de la comunidad a cargo de la gestión de los recursos hídricos de América Latina y el Caribe. En el encuentro participan representantes de diferentes niveles de la gobernanza y gestión de los recursos hídricos en ALC, así como la comunidad académica y de investigación. En este espacio de intercambio se manifiesta el papel del Grupo BID como institución de liderazgo.

Igualmente, el CeSH en colaboración con el sector de Conocimiento, Innovación y Comunicaciones del BID (KIC) lanza de manera bianual el curso en línea de HydroBID, con capacidad para 150 personas que cuentan con la asistencia de tutores certificados con esto se logra fortalecer el uso del conocimiento y la pericia a nivel de todo el Grupo BID.

Así mismo, el BID a través del Centro de Sporte HydroBID (CeSH) busca incluir a la academia en el proceso de gestión con el fin de generar el efecto multiplicador entre el sector público y privado y los diferentes actores que intervienen en el ecosistema de la seguridad hídrica.

Hasta el momento, este proceso se ha llevado a cabo a través de alianzas con universidades y memorándums de entendimiento que facilitan la capacitación técnica. La participación en esta iniciativa se da a través de académicos, especialistas consultores, agencias locales y nacionales que muestran interés de incorporar las herramientas HydroBID para la generación de información que apoya la gestión de los recursos hídricos en su ámbito de acción.

1.1.2 Servicios del CeSH



2. Objetivo

En el contexto anterior, en esta nota técnica se examina el rol de las instituciones de educación superior en el fortalecimiento de la seguridad hídrica regional, centrándose específicamente en las oportunidades para establecer un pacto estratégico con las agencias nacionales. A través del análisis de tres casos de implementación de las herramientas de HydroBID en instituciones académicas de Venezuela (CIDIAT-Universidad de Los Andes), Paraguay (Universidad Nacional de Itapúa), y Argentina (Universidad Nacional del Litoral), se identifican factores determinantes, buenas prácticas y desafíos comunes que caracterizan estas colaboraciones. La metodología empleada incluye entrevistas semi-estructuradas con actores clave y análisis comparativo de experiencias, considerando tanto las dimensiones técnicas como las socio-institucionales de estos procesos colaborativos.

El documento se estructura en siete secciones principales: el marco conceptual que define la seguridad hídrica y el rol de la academia; el análisis de la contribución de las IES a la ciencia y tecnología; la revisión detallada de experiencias y lecciones aprendidas de los tres casos de estudio; la exploración de oportunidades de cooperación con el sector privado; la identificación de desafíos y consideraciones críticas; y finalmente, las recomendaciones específicas para fortalecer estas alianzas estratégicas, con el objetivo de proporcionar un marco de referencia que facilite la articulación de colaboraciones persistentes a largo plazo entre las IES y las agencias nacionales, contribuyendo así al fortalecimiento de la seguridad hídrica en la región.

3. La Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe

La seguridad hídrica se ha convertido en uno de los desafíos más apremiantes para América Latina y el Caribe (ALC) en el siglo XXI. A medida que el impacto de la vulnerabilidad climática se incrementa sobre las economías y sociedades de la región, la capacidad de las cuencas y acuíferos para satisfacer las crecientes demandas de agua se ha visto severamente amenazada (Miralles-Wilhelm et al., 2019). Este escenario plantea la necesidad urgente de un enfoque integral y colaborativo que involucre a distintos actores en favor del bien común.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) proyecta un aumento del 35% en la demanda de agua para el próximo siglo en ALC (Bretas et al., 2020). Este incremento no solo se debe al crecimiento poblacional y económico, sino también a factores menos evidentes como la mayor demanda de agua que requieren las energías renovables, la inteligencia artificial, o también al aumento en el uso de la tierra para actividades de conservación de bosques y mitigación del cambio climático (Bretas et al., 2020). Estos factores subrayan la complejidad del nexo agua-energía-alimentos, destacando la necesidad de un enfoque multisectorial en la planificación y gestión de los recursos hídricos.

La creciente demanda del recurso a nivel mundial se ha incrementado a razón de 1% anual en los últimos 40 años (Bretas et al., 2020), y aunque los cambios en la demanda dependen en gran medida de los patrones de uso de los sectores que mayor uso generan (municipal, la industria y la agricultura), se estima que este aumento se siga expandiendo en esta misma proporción en los próximos años, y que para 2050 esta se incremente entre un 20-30% (Burek et al., 2016), lo que sería equivalente al 6% del Producto Interno Bruto (PIB) de algunas regiones debido al impacto que esto puede generar sobre la agricultura, la salud y las migraciones (UN Water & UNESCO, 2023).

ALC es una de la regiones del planeta que presenta mayor abundancia en recursos hídricos en todo el mundo, albergando poco más del 30% de los recursos hídricos a nivel global (Bretas et al., 2020); sin embargo, el cambio climático ha impactado de forma severa la capacidad de almacenamiento de las cuencas y acuíferos (Bretas et al., 2020). Asimismo, la aceleración de los eventos extremos ha ocasionado pérdidas económicas importantes. Entre 2000 y 2019 inundaciones causaron pérdidas equivalentes a un valor de 650,000 millones de USD, afectando a 1.6 millones de personas. Por su parte, las sequías afectaron a 1.4 millones de personas, con pérdidas estimadas en 130.000 millones (CRED & UNDRR, 2020). Dichas amenazas varían a lo largo de la región en función a la severidad de la vulnerabilidad climática (Mahlknecht et al., 2020) y a la habilidad que tienen las naciones para hacer frente a las vicisitudes ocasionadas por dichos cambios.

El en marco de dichas pérdidas, la falta de recursos humanos capacitados en las instituciones de gestión de recursos hídricos es otra de las amenazas observadas y mencionadas frecuentemente por la literatura; la falta de capital humano capacitado limita a las diversas agencias locales para generar repuestas efectivas ante los embates del cambio climático (Bretas et al., 2020). A esto se suma, una oferta poco oportuna por parte de las instituciones de educación superior y condiciones laborales poco atractivas, lo que en definitiva se manifiesta en una gestión poco eficiente de los recursos debido a

la debilidad institucional y a la ausencia de información fiable y actualizada (Bretas et al., 2020; UN Water & UNESCO, 2023).

Aunque la Agenda 2030 ha experimentado avances significativos, la consecución del ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento) requiere de esfuerzos importantes de cara a 2030. Con el avance registrado, para alcanzar las metas 6.1 (De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos) y 6.2 (De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad) se requiere cuadruplicar el ritmo de progreso para acceder de manera segura a los servicios de agua potable y saneamiento (UN Water & UNESCO, 2023).

A nivel colectivo la meta 6.5 (De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda) suministra información de los esfuerzos colaborativos registrados para la gestión hídrica transfronteriza. Sin embargo, pese a los esfuerzos registrados, se prevé que ningún país logrará alcanzar los principios de gestión integrada de recursos hídricos a todos los niveles para 2030, con lo cual, será necesario duplicar el ritmo actual de progreso (UN Water & UNESCO, 2023). Dichos resultados, son el reflejo de las insuficiencias observadas, entre ellas, i) la falta de sistemas normativos robustos; ii) la baja capacidad para aplicarlos; iii) la debilidad en la infraestructura; y iv) la fragmentación de la gobernanza para la toma de decisión (Bretas et al., 2020).

Lo anterior da cuenta de la importancia de generar en el sector acciones colaborativas que permitan generar y promover un mayor financiamiento en el sector, acelerar el paso de acción que hasta ahora se ha mantenido y por tanto generar mecanismos para un futuro mucho más sostenible en pro de la realización del derecho al agua.

En este contexto, la vinculación de la seguridad hídrica con la seguridad energética y alimentaria se ha convertido en un área de intensa actividad tanto para el BID como para los países de la región. Esta interconexión podría materializarse, por ejemplo, en inversiones multisectoriales como embalses multipropósito que incorporen elementos de infraestructura natural (Soluciones Basadas en la Naturaleza, SBN) y proyecciones de vulnerabilidad climática. Estos enfoques innovadores buscan robustecer los sistemas diseñados y facilitar su resiliencia y sostenibilidad a largo plazo (Embid & Martín, 2017).

Para hacer frente a estos desafíos, se han identificado varias necesidades críticas en la región. Entre ellas se encuentra el desarrollo de programas de reservas de agua que incluyan la caracterización detallada de cuencas hidrográficas. Estos esfuerzos son fundamentales para una planificación a largo plazo que considere los cambios en los patrones hidrológicos debido al cambio climático (Barrios Ordóñez et al., 2015). Asimismo, la gestión de las cabeceras de cuencas ha ganado relevancia, reconociendo la importancia de estas áreas no solo para el suministro de agua, sino también para maximizar su valor en términos de biodiversidad y apoyo a las comunidades indígenas.

La vinculación de ríos y planicies aluviales es un enfoque con gran potencial para proporcionar servicios ecosistémicos como el control de inundaciones, la captura de sedimentos y la provisión de hábitats para peces. Adicionalmente, la recarga de acuíferos también se presenta como una estrategia eficaz, permitiendo almacenar agua en el subsuelo para mitigar el riesgo de inundaciones y utilizarla durante períodos de sequía (Tellman et al., 2018). Sin embargo, la implementación efectiva de estas estrategias enfrenta hoy día obstáculos significativos; siendo uno de ellos la brecha de conocimiento técnico entre los tomadores de decisiones y los avances científicos en el campo de la gestión del agua. En la mayoría de los casos, los responsables de la formulación de políticas carecen de la experiencia técnica necesaria para comprender plenamente las capacidades y limitaciones de las nuevas tecnologías, como las técnicas de teledetección para el monitoreo de recursos hídricos (Gholizadeh et al., 2016). Esta brecha subraya la necesidad urgente de crear capacidades en la operacionalización de los avances en ciencia y tecnología relacionados con la medición y gestión del ciclo del agua.

Es en este punto donde la colaboración entre las agencias nacionales, las instituciones de educación superior, debido a sus múltiples funciones puede contribuir de manera significativa a los desafíos que enfrenta el sector. Las redes de colaboración entre los distintos actores que intervienen en el sector pueden facilitar acciones conjuntas que aborden de manera más efectiva los desafíos de la seguridad hídrica que enfrenta la región. La capacitación continua y el intercambio de conocimientos entre el sector académico y los gestores públicos pueden contribuir significativamente a mejorar la gobernanza y el fortalecimiento institucional de sector (Peña, 2016).

El papel de la academia en este contexto va más allá de la mera generación de conocimiento científico. Las universidades y centros de investigación tienen el potencial de convertirse en socios estratégicos para las agencias nacionales, ofreciendo no solo investigación de vanguardia, sino también formación

especializada, innovación tecnológica y asesoría técnica a los tomadores de decisiones. Esta colaboración puede manifestarse en diversas formas, desde programas de investigación aplicada conjunta hasta la participación activa de académicos en la formulación de políticas públicas relacionadas con el agua (Ballesteros et al., 2015).

Pese a estos beneficios y a la existencia de ciertas iniciativas, la región muestra signos de diversos esfuerzos, sin embargo, las iniciativas observadas en su gran mayoría presentan esfuerzos aislados, característicos de la persistente restricción presupuestaria, de la infraestructura insuficiente y de la baja participación en redes de cooperación internacional, lo que limita la capacidad de innovación y de generación de patentes, lo que limita la capacidad de impacto sobre el desarrollo económico (Pedró & Mendigutxia, 2024).

Este documento pone bajo revisión tres casos latinoamericanos donde se ha implementado las herramientas HydroBID en colaboración con universidades, con el fin de identificar espacios de mejoras que permitan generar lecciones aprendidas que permitan mejorar las sinergias que se pueden desarrollar a nivel regional entre los diferentes actores. En este sentido, las instituciones de educación superior constituyen pilares fundamentales en el fortalecimiento de la gestión hídrica regional mediante múltiples dimensiones complementarias. Su capacidad para formar recursos humanos especializados permite capacitar a funcionarios gubernamentales en herramientas técnicas como HydroBID, creando masa crítica de profesionales competentes en los organismos públicos. Simultáneamente, la academia desarrolla investigación aplicada orientada a problemas específicos de las agencias gubernamentales, generando soluciones contextualizadas que responden a las particularidades territoriales y a través de conocimiento técnico-científico aportando legitimidad y rigor metodológico a las decisiones de política pública relacionadas con recursos hídricos, proporcionando respaldo independiente a iniciativas que pueden tener significativas implicaciones sociales, económicas y ambientales.

En este sentido, las universidades funcionan como espacios neutrales que facilitan la articulación entre diferentes niveles de gobierno, permitiendo superar barreras jurisdiccionales y diferencias políticas mediante el diálogo basado en evidencia, la revisión muestra su capacidad para adaptar herramientas como HydroBID a necesidades regionales específicas resulta crucial para incrementar la pertinencia y aplicabilidad de estos instrumentos.

Particularmente valiosa resulta la continuidad que proporcionan las instituciones académicas a los proyectos hídricos más allá de ciclos políticos, asegurando la persistencia del conocimiento y procesos técnicos en contextos de alta rotación funcional. Finalmente, su contribución a la gestión de datos hidrológicos (desde la recolección hasta el análisis) constituye un aporte estratégico, especialmente relevante en regiones donde las capacidades gubernamentales en estos ámbitos presentan limitaciones significativas lo que luce como una potencial solución para avances significativos.

4. Marco Conceptual

La definición misma de seguridad hídrica ha evolucionado para reflejar la necesidad de un enfoque más integral. Según la definición propuesta por UNESCO la seguridad hídrica es "la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política" (UNESCO, 2012, p. 1). Esta definición subraya la necesidad de considerar no solo la disponibilidad y el acceso al agua, sino también su calidad, la gestión de riesgos asociados y la sostenibilidad ambiental.

En este marco, el rol de la academia se vuelve multifacético y esencial. Las instituciones de educación superior no solo son responsables de generar conocimiento científico y técnico de vanguardia, sino también de formar los recursos humanos especializados relevantes para el sector. Además, las instituciones de educación superior (IES) están en una posición única para aportar innovación y nuevas tecnologías que puedan mejorar significativamente la gestión del agua en la región. Su capacidad para proporcionar asesoría técnica basada en evidencia a los tomadores de decisiones es un activo invaluable en un contexto donde las decisiones sobre el agua tienen implicaciones de largo alcance para el desarrollo sostenible de las naciones (Willaarts et al., 2014).

La interacción entre la academia y las agencias nacionales de agua puede materializarse de diversas maneras. La colaboración en investigación aplicada permite abordar problemas específicos de gestión del agua con rigor científico y relevancia práctica. Los programas de capacitación y actualización

profesional pueden ayudar a cerrar la brecha de conocimiento técnico en las agencias gubernamentales. La participación de académicos en la formulación de políticas públicas puede enriquecer el proceso con perspectivas basadas en evidencia científica. Finalmente, la evaluación y el monitoreo conjunto de programas y proyectos hídricos pueden proporcionar retroalimentación valiosa para la mejora continua de las intervenciones en el sector (Embid & Martín, 2018).

El abordaje efectivo de los desafíos de seguridad hídrica en América Latina y el Caribe requiere un enfoque colaborativo y multidisciplinario que aproveche las fortalezas tanto de las agencias nacionales como de las instituciones académicas.

La complejidad de los problemas relacionados con el agua en la región, exacerbados por la propensión a la vulnerabilidad climática y las crecientes demandas sectoriales, requiere soluciones innovadoras y basadas en el conocimiento. El establecimiento de marcos de colaboración robustos entre estos actores no solo puede mejorar la calidad de las decisiones y políticas relacionadas con el agua, sino también contribuir al desarrollo de capacidades a largo plazo en la región para enfrentar los desafíos hídricos del futuro.

En este sentido, el BID propone un enfoque innovador considerando la gestión integral del ciclo del agua, con el fin de resolver la fuerte fragmentación que existe en el sector, tanto en el marco institucional como normativo (Bretas et al., 2020) tal y como se muestra en la [figura 1](#).



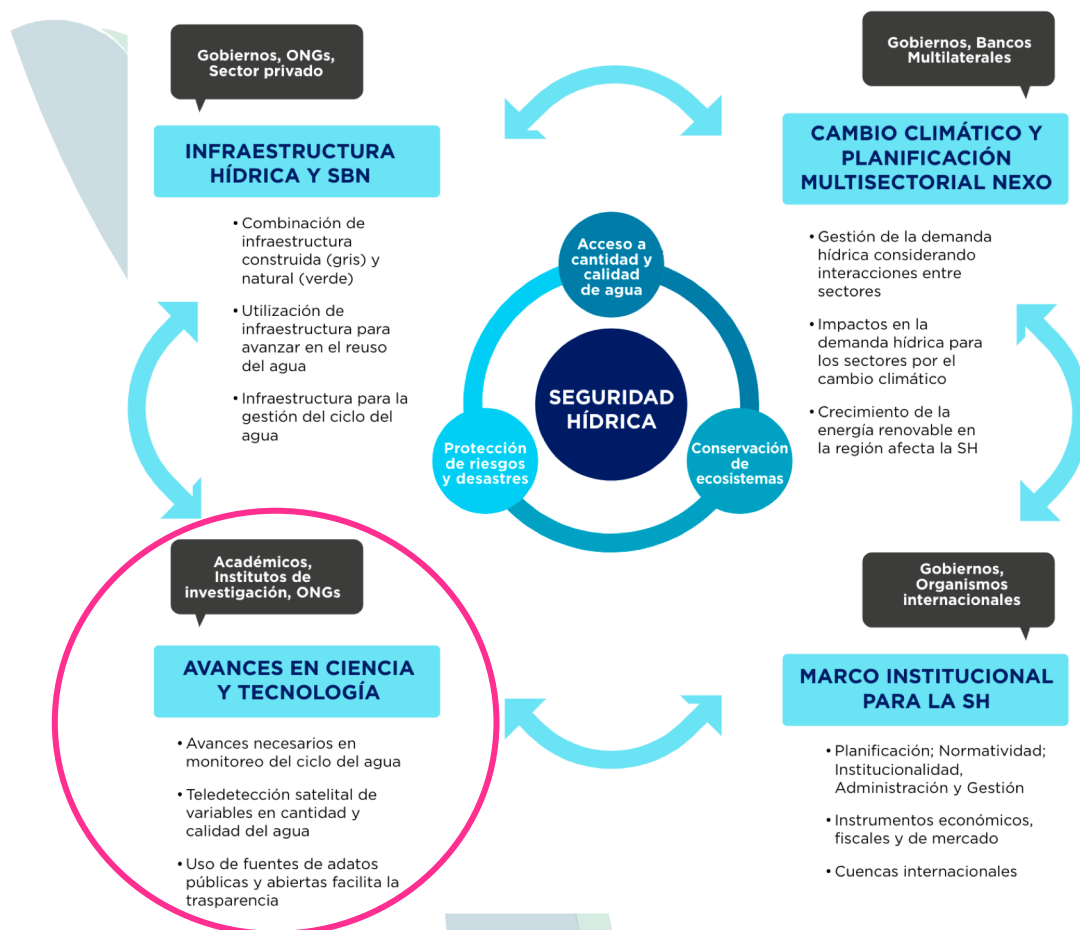


Figura 1. Oportunidades de innovación en Seguridad Hídrica para la región ALC. Fuente (Bretas et al., 2020).

Este enfoque contempla cuatro áreas de acción fundamentales de acción colaborativa: i) la planificación multisectorial para la vulnerabilidad climática en función a la demanda hídrica; ii) la infraestructura hídrica y las soluciones basadas en la naturaleza (SBN); iii) el fortalecimiento del marco institucional para la seguridad hídrica; y iv) su transversalidad con los diversos sectores (energía, agricultura, biodiversidad, vulnerabilidad climática, etc.). Adicionalmente, plantea dentro de este marco avances en ciencia y tecnología para la implementación de nuevos conceptos, el uso de fuentes de datos, esenciales para la toma de decisiones informadas sobre los recursos hídricos y la gestión de riesgos.

El BID a través del Centro de Sporte HydroBID (CeSH) busca incluir a la academia en esta ecuación con el fin de generar el efecto multiplicador entre el sector público y privado y los diferentes actores que intervienen en el ecosistema de la seguridad hídrica. La suite de herramientas HydroBID a

través del CeSH para la región, ofrece herramientas personalizadas, servicios analíticos, capacitación, educación, y soluciones específicas para la gestión integrada de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe (ALC).

El CeSH en su ámbito de acción plantea cuatro líneas de acción que contemplan: i) apoyo local, nacional y regional, a través de programas de capacitación, la preparación y ejecución de estudios, el análisis y capacidades de monitoreo de la información hidroclimática, así como el desarrollo de productos y servicios a la medida, ii) soporte operativo, que se da a través del apoyo técnico en la evaluación de diseños de infraestructura, balances hídricos, estudios de oferta y demanda y análisis costo beneficio de propuestas; iii) desarrollo de conocimiento, mediante la actualización y desarrollo de herramientas HydroBID, creación de conocimiento, alianzas con academias y operadores y cursos en línea; iv) comunidad de práctica, para promover el intercambio de experiencia y de capacidades técnicas a través de encuentros anuales.

Pese a la existencia del CeSH y a la multiplicidad de sus herramientas, se observa la necesidad de generar mecanismos más potentes que permitan facilitar el uso y diseminación de dichas herramientas con el fin de generar el efecto multiplicador en cuanto a la generación de conocimiento y a la toma de decisiones y acciones colaborativas alrededor del sector en la región.

Como se mencionó anteriormente, hasta el momento, este proceso se ha llevado a cabo a través de alianzas con universidades y memorándums de entendimiento que facilitan la capacitación técnica. La participación en esta iniciativa se da a través de académicos, especialistas consultores, agencias locales y nacionales que muestran interés de incorporar las herramientas HydroBID para la generación de información que apoya la gestión de los recursos hídricos en su ámbito de acción.

Estas iniciativas, aunque poderosas, muestran un limitado alcance debido a la falta de colaboración en el sector. Este documento parte, de la importancia de la academia y los centros de investigación tal y como se menciona en el marco Oportunidades de innovación en Seguridad Hídrica para la región de ALC en la figura 1, para contribuir con avances en la ciencia y la tecnología, y de su potencial de impactar a los otros tres módulos, marco institucional, la infraestructura hídrica y la planificación multisectorial, a través de la generación de conocimiento de investigación básica y aplicada, que puede contribuir con información relevante para la toma de decisión, así como

contribuir con la transferencia de tecnología al sector productivo y a través de la formación de capital humano, el mantenimiento de infraestructura.

5. La Contribución de las Instituciones de Educación Superior IES a la Ciencia y la Tecnología

Las IES se sitúan como un actor clave con el potencial de contribuir a varios de los retos identificados. Además de contribuir a la formación del capital humano, las IES pueden satisfacer directamente las necesidades de los múltiples actores involucrados en el proceso mediante la generación de conocimiento a través de la investigación (McCowan, 2023; UNESCO IESALC & THE, 2023), la formación de capital humano especializado y la participación en redes locales, regionales y globales de conocimiento. Si hay algo que define el papel de las IES en la economía sostenible, es precisamente su impacto transversal en los ODS, ya que, debido a su ámbito de acción, se convierten en un motor para alcanzar los ODS (McCowan, 2023).

Esto hace de las universidades un actor clave dentro de las soluciones requeridas para fortalecer la seguridad hídrica en la región. Las IES a través de sus campus físicos o virtuales tienen la capacidad de apoyar tanto a las nuevas generaciones como a las ya formadas, así como las de relacionarse con múltiples actores (sector público, privado, ONGs), y en distintos niveles (local, regional y global). En este sentido, la adaptación del currículo a una educación más sostenible podría introducir desde las IES dinámicas más activas con el fin de resolver problemas ambientales y sociales (Barron et al., 2010); dicha inclusión podría reforzar un pensamiento más sistemático y producir conocimientos interdisciplinarios para comprender mejor las conexiones multisectoriales (Almeida-Filho, 2021).

Una de las principales tendencias en las universidades ha estado asociada a la redefinición de la estrategia organizativa en línea con una visión sostenible (Beynaghi et al., 2015). Sin embargo, a nivel curricular, los cambios han sido lentos. En muchos casos, la burocracia que implica su proceso y la necesidad de trabajar colaborativamente (Müller-Christ et al., 2014). Es por ello que la acción colaborativa entre los diversos actores que intervienen en el proceso puede generar mecanismos para que las IES, frecuentemente conocidas como torres de marfil, se motiven a desarrollar su alto potencial y convertirse en un

punto de encuentro entre los diferentes actores (instituciones gubernamentales, gobiernos locales y municipales, el sector privado, organizaciones de la sociedad civil, organizaciones internacionales y de cooperación).

Por tanto, la acción conjunta no solo tiene el potencial de contribuir al acervo del capital social, involucrando las instituciones, los gobiernos, el sector privado y la comunidad, sino que pueden aportar en definitiva con soluciones tangibles que fortalezcan los ecosistemas locales mediante la transferencia de conocimiento y el fortalecimiento de capacidades para la contribución con el desarrollo sostenible (UNESCO IESALC & THE, 2023).

Pese a estos prominentes beneficios y a la relevancia de las IES en la investigación y en la innovación, la región enfrenta un fuerte rezago en materia de inversión y de producción científica. El gasto promedio en I+D de la región en promedio de los últimos cinco años se ubica en 0.58% (2017-2021) que comparado con países como Estados Unidos y Japón se encuentran sobre el 3.5% y 3.3% respectivamente mientras que en promedio los países de la OECD contemplan una inversión de 2.72% del PIB (ver figura 2).

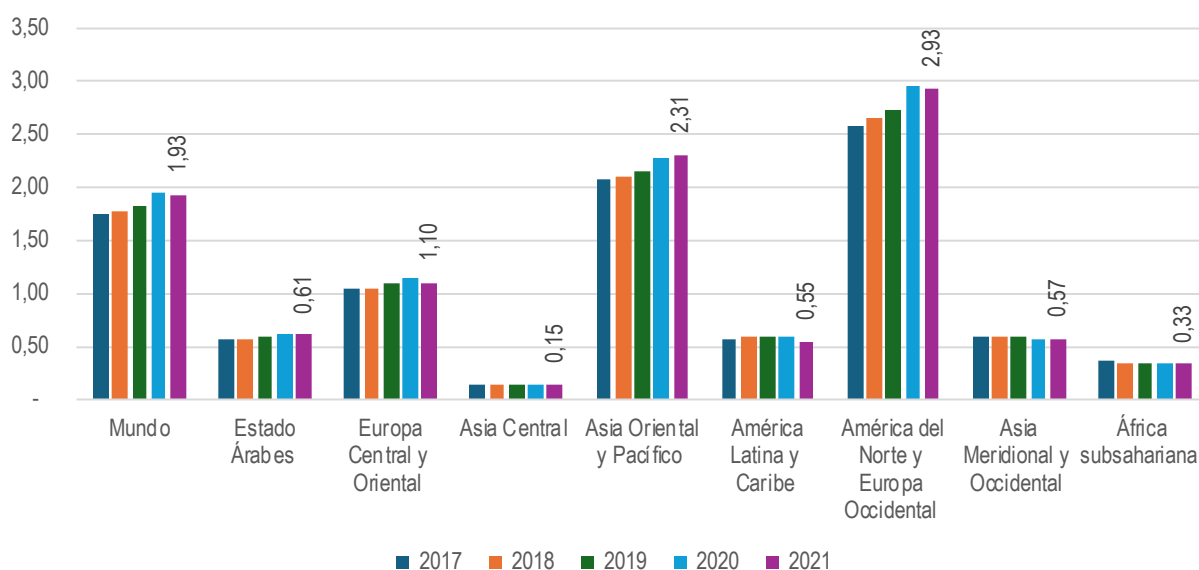


Figura 2. Gastos de investigación y desarrollo como porcentaje del PIB por región. Fuente: Instituto de estadísticas de la UNESCO (UNESCO UIS, 2024)

Aunque la inversión se ha visto incrementada desde 2017 a nivel global, 2021 experimentó un leve descenso de .02% mientras que, para la ALC, este ha sido de .04%. Visto en términos per cápita, son Brasil, Argentina y Uruguay los países que lideran la inversión en I+D con 179.65 USD, 133.04 USD y 122.59 USD per cápita respectivamente mientras que Paraguay y El Salvador son los países que poseen una menor inversión 21.51 USD y 17.14 USD per cápita respectivamente (Pedró & Mendigutxia, 2024).

Por su parte, la composición del gasto en investigación y desarrollo por fuentes de financiamiento en la región muestra patrones diversos. En principio la región se caracteriza por un financiamiento prominentemente público, en promedio para 2021, cerca del 51% es financiado por el sector gobierno, mientras que el 17% va dirigido a instituciones de educación superior, 26% se financia por el sector privado y 3% por el sector privado sin fines de lucro (ver figura 3). Países como Estados Unidos, Corea o Finlandia en contraste, tienen una mayor presencia del sector empresarial que alcanza entre un 65%-70% y el sector privado de público de 30%-25%.

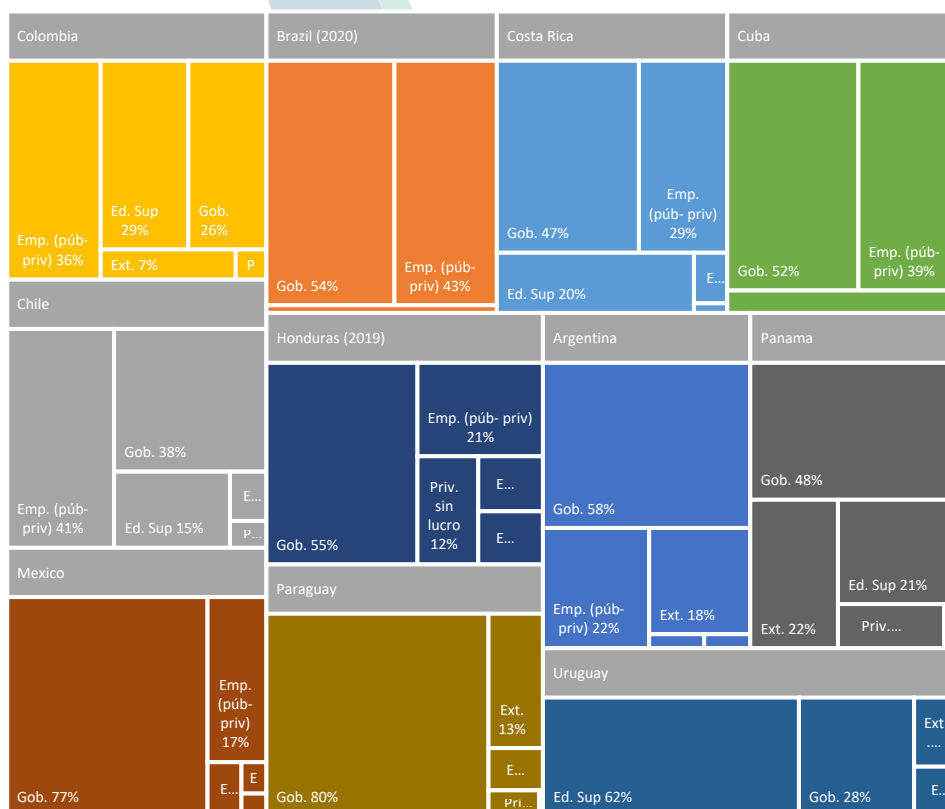


Figura 3. Composición del gasto en investigación y desarrollo por fuente de financiamiento en porcentaje 2021. Fuente: Red Índices (2024).

En ALC, son Chile y Colombia los países que muestran esta misma tendencia, es decir, una participación mayor del sector privado que del sector público invirtiendo en I+D, Colombia un 36% y Chile un 41%. Por su parte el financiamiento dirigido a la Educación Superior como principal promotor de investigación en promedio, presenta un promedio de 17% aunque países como Colombia, Costa Rica y Panamá superan el 20%, sin embargo, Argentina, Brasil y Paraguay muestran un porcentaje por debajo del 15% (ver Figura 3).

Esto se ve directamente reflejado sobre la producción científica, si bien la región ha progresivamente incrementado el número de publicaciones las participaciones de las instituciones de educación superior sobre el total de publicaciones en SCOPUS ha superado el 84% (ver figura 4). Pese a este crecimiento, el impacto de la generación de conocimiento no se ha traducido en una mayor innovación, lo cual impacta directamente sobre la competencia en el mercado y por tanto en el crecimiento económico de la región (Schneegans et al., 2021).

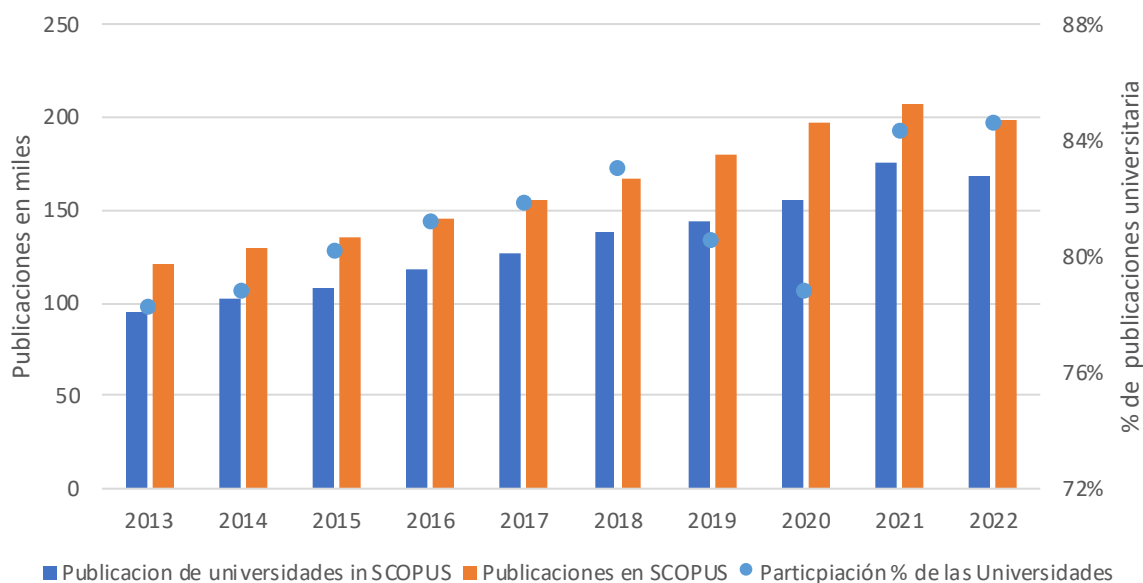


Figura 4. Publicaciones científicas de las universidades en SCOPUS y publicaciones científicas en SCOPUS versus la participación % de las Universidades.

Fuente: Red Índices 2024

El informe de la UNESCO sobre la Ciencia 2021 (Schneegans et al., 2021) especifica que el enfoque de la región en su mayoría se enfoca en la exportación industrial y en la exportación de recursos naturales, siendo la mayoría de recursos dirigidos a reforzar la expansión en este tipo de exportaciones, en vez de ser redirigidos a inversiones de infraestructura o innovación. Por su parte, el estancamiento de la economía ha ido acompañado de su respectiva reducción del gasto de investigación en Argentina, Brasil y México. Sin embargo, la pandemia de la COVID-19, puso a prueba la necesidad de dicha inversión, además de la importancia de la colaboración entre los diversos sectores en beneficio del bien común. En 2020, las agencias de innovación de Argentina, Brasil y Uruguay abrieron concursos de investigación con procesos de aprobación acelerados, asimismo, diversas universidades tomaron varias iniciativas que atendían las diversas necesidades locales. Dando muestras de la importancia de las diversas sinergias que se pueden generar producto de la participación conjunta de los actores que intervienen en el proceso.

Para ello, se requiere de esfuerzos financieros que contribuyen a promover la investigación y desarrollo. En este sentido el financiamiento es una variable clave, por ejemplo, la Universidad Nacional Autónoma de México destina el 26.16% de su presupuesto a investigación, la Universidad Federal de Minas Gerais destina el 9.65%, pero en su mayoría las instituciones de la región destinan menos del 1% de sus recursos a la investigación.

5.1 Los Consorcios como herramienta para facilitar la colaboración, la investigación y la búsqueda de recursos

Los consorcios internacionales de investigación han surgido como poderosos vehículos para fortalecer la capacidad de investigación y promover entornos de investigación propicios, en particular en colaboraciones entre países de ingresos altos y países de ingresos bajos y medianos. En la región, las estadísticas acerca de la colaboración entre universidades son diversas, mostrando las disparidades de la región. En términos de inversión, producción científica y participación en redes de investigación, así como la necesidad de fortalecer el compromiso con la investigación en muchas instituciones de la región.

Además de facilitar la producción científica, los consorcios favorecen a la creación de redes de aprendizaje profesional (PLN) y las comunidades de aprendizaje profesional (PLC). Las PLN y las PLC representan enfoques poderosos para el desarrollo de los docentes que pueden mejorar significativamente las intervenciones educativas. Estas estructuras colaborativas facilitan el intercambio de conocimientos, la reflexión y la implementación de prácticas basadas en la evidencia.

Las PLC operan principalmente dentro de los centros educativos, creando espacios de colaboración donde los profesores comparten ideas, discuten estrategias y planifican colectivamente la enseñanza. Las investigaciones demuestran que las PLC promueven la innovación (McLaughlin & Talbert, 2006), apoyan la implementación del plan de estudios (Curry, 2008) y mejoran el rendimiento de los estudiantes (Lomos et al., 2011). Las PLC establecen normas compartidas, se centran en los resultados de los estudiantes, crean confianza social y fomentan la colaboración que mejora las prácticas de enseñanza (Ingvarson et al., 2005).

Las PLN por su parte, van más allá de las escuelas individuales, conectando a los educadores entre instituciones y con expertos en la materia. Este enfoque distribuido es particularmente valioso para los profesores aislados de sus colegas de la misma materia. Las PLN pueden servir como vehículos para implementar intervenciones centradas en la motivación de los estudiantes y las mentalidades de aprendizaje.

Las redes con intervenciones que además contemplan el apoyo y desarrollo profesional aumentan la sostenibilidad y la eficacia de los consorcios. El profesorado puede comenzar en su nivel de comprensión actual y desarrollarse progresivamente con redes que proporcionan oportunidades de reflexión continua que refuerzan la persistencia en la implementación de prácticas de apoyo motivacional en el aula y esto a su vez se ve reflejado en la investigación.

En Colombia el 64% de las IES participa en La Referencia (la Red Latinoamericana para la Ciencia Abierta), Ecuador por su parte muestra una participación de 70%, en contraste, Brasil solo tiene 1% de participación y Chile no registra universidades vinculadas (Pedró & Mendigutxia, 2024). Siendo estos países los que en mayor porcentaje contribuyen con un mayor volumen de publicaciones en la región, lo cual limita las posibilidades de colaboración regional y la capacidad de innovación a través de procesos colaborativos.

Las redes con intervenciones que además contemplan el apoyo y desarrollo profesional aumentan la sostenibilidad y la eficacia de los consorcios. El profesorado puede comenzar en su nivel de comprensión actual y desarrollarse progresivamente con redes que proporcionan oportunidades de reflexión continua que refuerzan la persistencia en la implementación de prácticas de apoyo motivacional en el aula y esto a su vez se ve reflejado en la investigación.

En Colombia el 64% de las IES participa en La Referencia (la Red Latinoamericana para la Ciencia Abierta¹), Ecuador por su parte muestra una participación de 70%, en contraste, Brasil solo tiene 1% de participación y Chile no registra universidades vinculadas (Pedró & Mendigutxia, 2024). Siendo estos países los que en mayor porcentaje contribuyen con un mayor volumen de publicaciones en la región, lo cual limita las posibilidades de colaboración regional y la capacidad de innovación a través de procesos colaborativos.

En el sector, son múltiples las iniciativas colaborativas, el PHI-LAC ([Programa Hidrológico Intergubernamental](#)), coordinado por la Oficina UNESCO en Montevideo, este ejemplo de colaboración multisectorial fue diseñado para abordar los retos regionales relacionados con el agua¹. El programa involucra 37 Comités Nacionales y Puntos Focales, 6 Centros bajo los auspicios de la UNESCO, 14 Cátedras UNESCO relacionadas con temas del agua (UNESCO, 2023). El PHI-LAC trabaja con gobiernos, tomadores de decisiones, expertos, más de 15,000 científicos e investigadores, y busca involucrar a ciudadanos, especialmente mujeres, jóvenes y pueblos originarios.

La Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, una iniciativa multisectorial diseñada para fortalecer la seguridad hídrica regional desde 2011. Algunos logros incluyen la creación y fortalecimiento de 26 Fondos de Agua, la Inversión total de US\$50.3 millones por parte de los socios, el apalancamiento de más de US\$249 millones la participación de más de 340 actores públicos, privados, academia y sociedad civil, intervenciones para mejorar la seguridad hídrica en más de 565 mil hectáreas (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, 2023).

La Red Latinoamericana para la Ciencia Abierta, o simplemente La Referencia, a través de sus servicios apoya las estrategias nacionales de Acceso Abierto en América Latina y España mediante una plataforma con estándares de interoperabilidad, compartiendo y dando visibilidad a la producción científica generada en las instituciones de educación superior y de investigación científica. Fundada en 2012, La Referencia muestra una gobernanza de nodos a través de los países que la conforman. <https://www.lareferencia.info/es/institucional/quienes-somos>

Red y Observatorio para la Sostenibilidad del Agua (ROSA), es una iniciativa que busca favorecer el intercambio y fortalecimiento de capacidades en torno a la gestión hídrica responsable en América Latina y el Caribe. ROSA promueve una gestión hídrica eficaz y sostenible uniendo a diferentes actores para asegurar la sostenibilidad hídrica (CEPAL, 2024)

El proyecto Cerro Verde en Perú, muestra una asociación público-privada exitosa que aplicó los principios de la economía circular para reducir la contaminación del río y el estrés en las fuentes de agua. En 2015, el operador minero invirtió 500 millones de dólares estadounidenses en el diseño, la construcción y la explotación de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un acuerdo de 29 años con la empresa local de suministro de agua. Esta asociación surgió de un amplio compromiso con la comunidad, que incluyó 20 foros públicos y la colaboración con universidades para la evaluación del impacto ambiental (Banco Mundial, 2023). Estos ejemplos demuestran la importancia de la colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y del sector privado para abordar los desafíos de seguridad hídrica en América Latina y el Caribe.

Las universidades participan activamente en iniciativas de colaboración con otros sectores. Por ejemplo, el proyecto INNODROP en México, una colaboración entre el Centro Regional de Seguridad Hídrica (CERSHI), Grupo Modelo y la UNAM, fomenta la participación de jóvenes universitarios en la búsqueda de soluciones a la escasez hídrica. En este sentido, la academia facilita el intercambio de conocimientos y la cooperación entre países. La siguiente caja presenta algunos programas colaborativos en la región.



Tabla 1. Iniciativas colaborativas en la región

- **Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) y su red de Cátedras UNESCO**

El Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) de la UNESCO, fundado en 1975, es un programa de cooperación intergubernamental dedicado a la investigación y gestión del agua, así como a la educación y desarrollo de capacidades. En América Latina y el Caribe, el PHI-LAC (coordinado por la Oficina UNESCO en Montevideo) busca abordar los retos regionales relacionados con el agua.

El PHI-LAC cuenta con una extensa red que incluye puntos de enseñanza e investigación establecidos en universidades e institutos de investigación de la región, trabajando en temas como la seguridad hídrica.

- **Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible**

La Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible, alojada en la Universidad Nacional del Litoral (Argentina), ha sido parte importante en la coordinación del curso "La seguridad hídrica y los objetivos de desarrollo sostenible", al que asistieron más de 3,000 personas con incidencia en políticas públicas.

Esta iniciativa incluyó participantes de universidades y otras instituciones de casi todos los países de Latinoamérica y el Caribe, y generó un manual técnico sobre seguridad hídrica para tomadores de decisión y público en general.

- **Centro Regional de Seguridad Hídrica de la UNAM**

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) opera uno de los 36 Centros de Seguridad Hídrica que existen en el mundo, auspiciado por la UNESCO como parte de la llamada "Familia del agua".

- **Red para América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua (RALCEA)**

RALCEA constituye una estrategia de colaboración e intercambio de conocimientos entre diferentes actores vinculados al agua y el ambiente, con el propósito de mejorar la gestión de los recursos hídricos en América Latina para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Esta red se conformó articulando reconocidas instituciones académicas (Centros de Excelencia) con instituciones que velan por el diseño e implementación de políticas públicas en gestión sostenible de recursos hídricos (Puntos Focales).

RALCEA ha colaborado con otras organizaciones como la Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible en cursos como "Aguas subterráneas, seguridad hídrica y gobernanza con énfasis en ámbitos transfronterizos", parte del itinerario formativo de la Conferencia de directores Iberoamericanos del Agua (CODIA).

- **Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (LA-WETnet)**

LA-WETnet es una red regional que ofrece servicios de desarrollo de capacidades sobre gestión integrada y sostenible del agua y acceso al agua y saneamiento en un contexto de cambio climático. Opera en colaboración con Cap-Net (PNUD), universidades y otras organizaciones.

Esta red ha desarrollado cursos como "Acción Climática y Seguridad Hídrica en la Práctica", orientado al desarrollo de capacidades en el marco de la acción climática y seguridad hídrica, con participación de instituciones académicas como el Centro AGUA de la Universidad Mayor de San Simón (Bolivia) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Estas iniciativas demuestran cómo las instituciones de educación superior en América Latina y el Caribe están formando comunidades de aprendizaje y redes profesionales enfocadas en la seguridad hídrica, un tema crucial para el desarrollo sostenible de la región.

6. Experiencias y Lecciones Aprendidas

Esta sección examina tres experiencias de implementación de la suite HydroBID en instituciones académicas de Argentina, Paraguay y Venezuela, con el objetivo de identificar factores determinantes, buenas prácticas y desafíos comunes. Asimismo, se explora el papel potencial de la academia como soporte a las agencias nacionales en el fortalecimiento de la seguridad hídrica regional, desde una perspectiva que contempla tanto las dimensiones técnicas como las socio-institucionales de estos procesos.

Empleando entrevistas semi-estructuradas con actores claves que incluyen a académicos involucrados en la adopción de la iniciativa de la incorporación las herramientas HydroBID en sus respectivas instituciones. Este abordaje permite comprender en profundidad los procesos de adopción de la herramienta, considerando los factores contextuales específicos y la interacción entre variables técnicas, institucionales y sociales. Las entrevistas fueron codificadas y analizadas para identificar patrones comunes y particularidades relevantes en cada caso, en lo referido a las buenas prácticas y los desafíos que han enfrentado estos tres casos para la implementación de las herramientas HydroBID.

6.1 Caso 1: Centro Interamericano de Desarrollo, Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Universidad de Los Andes - Venezuela

6.1.1 Descripción de la Iniciativa

El CIDIAT representa un caso particularmente interesante por su trayectoria histórica y su posición institucional. Fundado hace 58 años mediante un convenio entre la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Universidad de Los Andes, el Centro ha evolucionado como un instituto de carácter experimental con considerable autonomía dentro de la estructura universitaria. Esta configuración institucional ha facilitado la capacidad del Centro para establecer relaciones de cooperación directas con entidades nacionales e internacionales.

CIDIAT implementó HydroBID WAM (Water Assessment Model) como parte de sus herramientas de modelación hidrológica. Con una trayectoria de 58 años en la formación de profesionales en recursos hídricos, el CIDIAT fue fundado mediante un convenio de cooperación internacional entre la OEA y la Universidad de los Andes.

La adopción de HydroBID WAM (Water Assessment Model) comenzó a partir de un proyecto con el BID y la participación en la primera reunión de comunidades de práctica. Inicialmente, se involucró a varios profesores con apoyo institucional para cursos de capacitación. El modelo ha sido aplicado en diversas cuencas venezolanas, incluyendo un reciente trabajo para la tercera comunicación nacional sobre cambio climático, donde se analizaron cuatro cuencas importantes: Caroní, Triotocuyo, Acarigua y Motatán. La posición institucional única del CIDIAT, dependiente directamente del vicerrectorado académico y no de un departamento específico, le ha otorgado cierta autonomía para mantener colaboraciones tanto con entidades gubernamentales como con el sector privado, incluso en un contexto político complejo.

6.1.2 Descripción de la Iniciativa

- 1. Integración en proyectos reales:** El CIDIAT ha incorporado HydroBID WAM (Water Assessment Model) en consultorías e investigaciones con impacto tangible, como el análisis de cuencas para la tercera comunicación nacional y propuestas para el lago de Maracaibo con la FAO.
- 2. Superación de limitaciones de datos:** Han desarrollado métodos innovadores para resolver la falta de datos hidrológicos, aprovechando la sensorica remota y técnicas estadísticas para completar series temporales.
- 3. Resiliencia institucional:** A pesar de las dificultades sociopolíticas y económicas, la institución ha mantenido su capacidad técnica y su compromiso con la gestión de recursos hídricos.
- 4. Desarrollo de herramientas complementarias:** Han creado programas adicionales que mejoran la funcionalidad de HydroBID WAM (Water Assessment Model), como interfaces para visualizar resultados en tiempo real.

5. Articulación técnico-política: Han logrado mantener colaboraciones con ministerios y otras entidades públicas a pesar de los cambios políticos, enfocándose en aspectos técnicos.

6.1.3 Desafíos Observados

1. Interfaces poco amigables: HydroBID WAM (Water Assessment Model) podrían mejorar las interfaces para hacerlas más accesibles, especialmente para nuevos usuarios.

2. Problemas técnicos: Los errores relacionados con formatos de archivos y aspectos como la configuración regional (fechas en inglés vs. español) generan dificultades que deben ser especificadas al momento de capacitar a los nuevos usuarios.

3. Obsolescencia tecnológica: El avance de las tecnologías disponibles en cuanto al manejo de datos, plantea la necesidad de migrar de Python 2 a Python 3 y actualizar fórmulas de cálculo como la de evapotranspiración.

4. Sostenibilidad financiera: La dependencia de proyectos externos con financiamiento externo afecta la continuidad de las iniciativas.

5. Comunidad de práctica: Aunque existe, carece de plataformas efectivas para compartir desarrollos y soluciones continuas que permitan una interacción más continua.

6.2 Caso 2: Universidad Nacional de Itapúa - Paraguay

6.2.1 Descripción de la Iniciativa

La implementación de HydroBID WAM (Water Assessment Model) en la Universidad Nacional de Itapúa (UNI) in Paraguay comenzó como iniciativa individual de una de las estudiantes de la universidad, que luego formaría parte de la secretaria del Ambiente, Gobernación de Itapúa y posteriormente se incorporaría como docente coordinadora del Observatorio del Agua en la universidad, expandiendo el uso de la herramienta que inicialmente fuera usada para la tesis de grado.

Esta iniciativa que comenzó de un interés individual se consolidó posteriormente con dos talleres de capacitación de HydroBID WAM (Water Assessment Model), tanto en la Universidad Nacional de Itapúa como en la Universidad Católica en Asunción. A partir de estos talleres, el uso de la herramienta se ha difundido a otras universidades paraguayas.

6.2.2 Buenas Prácticas Identificadas

- 1. De iniciativa individual a institucional:** El caso muestra cómo el compromiso individual puede evolucionar hacia la adopción institucional cuando hay personas que transitan entre roles académicos y gubernamentales. Lo cual puede funcionar como un punto de apalancamiento para la implementación de la herramienta.
- 2. Difusión académica:** La presentación de la herramienta en congresos ha despertado interés en nuevos potenciales usuarios.
- 3. Integración curricular:** el modelo HydroBID WAM (Water Assessment Model) se ha incorporado en clases regulares, asegurando la formación continua de nuevos usuarios.
- 4. Colaboración transfronteriza:** La ubicación de Itapúa en la frontera con Argentina facilita la colaboración regional, siendo a veces más natural colaborar con instituciones argentinas cercanas que con las de Asunción haciendo uso de la herramienta.

6.2.3 Desafíos

- 1. Escasez de datos hidrológicos:** La principal limitación para la aplicación efectiva de HydroBID WAM (Water Assessment Model) es la falta de datos para alimentar el modelo.
- 2. Centralización de recursos:** Las agencias nacionales están concentradas en Asunción, dificultando la implementación de proyectos en otras regiones.
- 3. Falta de presupuesto para monitoreo:** Ni la gobernación ni las universidades tienen recursos asignados específicamente para el monitoreo hidrológico.

4. Sistema de información incipiente: Paraguay está apenas comenzando a desarrollar un sistema nacional de información del agua.

5. Soporte técnico deficiente: El centro de soporte de HydroBID puede mejorar y sistematizar la atención a los usuarios para facilitar la resolución de problemas.

6. Comunicación limitada: Faltan mecanismos efectivos para la facilitar la interacción continua entre usuarios que usan la herramienta.

6.3 Caso 3: Universidad Nacional del Litoral-Argentina

6.3.1 Descripción de la Iniciativa

La Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) ha implementado las herramientas HydroBID como parte de sus actividades académicas y de investigación. Ubicada en Santa Fe, en el valle de inundación de los ríos Salado y Paraná, la modelación hidrológica es especialmente **relevante para esta región. El proceso comenzó en 2016, cuando representantes de la universidad conocieron** sobre HydroBID en una reunión de la Red para América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua RALCEA en México. Esto dio paso para que se organizara un curso de posgrado sobre la suite HydroBID en el marco de la maestría en gestión integrada del agua, con participación de diversos expertos.

Posteriormente, la facultad sirvió como sede para capacitaciones en HydroBID WAM (Water Assessment Model) y HydroBIDFlow, solicitadas por los gobiernos municipal y provincial. Dichas capacitaciones atrajeron participantes de otras provincias argentinas e incluso de Uruguay. Como resultado, se han desarrollado aplicaciones en varias cuencas y se han generado publicaciones académicas. La FICH forma parte de redes académicas, facilitando la colaboración entre universidades y gobiernos. Actualmente, sus docentes están desarrollando un trabajo de consultoría para el Ministerio del Ambiente, modelando hidráulicamente el delta del río Paraná.

6.3.2 Buenas Prácticas Identificadas

- 1. Articulación academia-gobierno:** La universidad funciona como puente entre el conocimiento académico y las necesidades gubernamentales, independientemente del color político de los gobiernos.
- 2. Formación de posgrado especializada:** La incorporación de las herramientas HydroBID en programas de maestría ha permitido formar recursos humanos altamente especializados.
- 3. Aplicación a problemas locales:** Se han desarrollado aplicaciones para resolver problemas de inundaciones en la región, aprovechando el conocimiento local.
- 4. Participación en redes:** La integración en redes como RALCEA ha potenciado las conexiones con otras instituciones académicas y gubernamentales.
- 5. Producción científica:** Las aplicaciones han resultado en publicaciones científicas que validan la herramienta.
- 6. Mejora de capacidades gubernamentales:** Las capacitaciones han impulsado al gobierno provincial a mejorar sus sistemas de recolección de datos y modelos digitales del terreno.

6.3.3 Desafíos

- 1. Sostenibilidad financiera:** La falta de financiamiento continuo afecta la sostenibilidad de redes como RALCEA.
- 2. Necesidad de focalización:** Ante la magnitud de los desafíos, es necesario enfocarse en proyectos piloto específicos para maximizar el impacto.
- 3. Comunicación intermitente:** Falta mejorar los mecanismos de comunicación continua entre encuentros de la comunidad de práctica.

4. Limitaciones de datos: La escasez de información hidrológica dificulta la aplicación efectiva del modelo, aunque se han realizado esfuerzos para mejorar la recolección.

5. Inestabilidad política: Los cambios de gobierno afectan la continuidad de los proyectos y la retención de conocimientos.

El análisis comparativo de los tres casos revela prácticas comunes que han facilitado la implementación exitosa de las herramientas HydroBID en contextos académicos latinoamericanos. Esta revisión, destaca el papel determinante de "promotores institucionales" que impulsaron el proceso con compromiso personal y conocimiento técnico, complementado por la integración de la herramienta en programas educativos formales que aseguran continuidad, si bien estas iniciativas fortalecen la incorporación del uso y disseminación de la herramienta, permanecen algunas incógnitas de la sostenibilidad de dichas iniciativas. En este sentido, las universidades han demostrado una valiosa función articuladora entre diversos actores del sistema hídrico, adaptando la herramienta a problemáticas locales específicas como inundaciones urbanas o análisis de cambio climático. Asimismo, en el marco de incorporación de la herramienta, las instituciones han desarrollado abordajes creativos ante la limitación de datos, generando metodologías innovadoras que potencian la aplicabilidad del modelo en contextos de información restringida.

Como se menciona anteriormente, los casos estudiados enfrentan desafíos transversales que condicionan el impacto y sostenibilidad de estas iniciativas. La escasez y calidad deficiente de datos hidrológicos constituye el obstáculo técnico más significativo, aunque con diferentes grados de severidad y estrategias de mitigación en cada contexto. La sostenibilidad financiera representa otra limitación crítica, con excesiva dependencia de financiamientos externos o coyunturales que comprometen la continuidad. Adicionalmente, la debilidad de la comunidad de práctica -carente de mecanismos efectivos para el intercambio continuo de experiencias y soluciones- se combina con la complejidad del ecosistema institucional hídrico, caracterizado por fragmentación y tensiones interjurisdiccionales. Completan este panorama las barreras técnicas para usuarios no especializados, incluyendo interfaces poco amigables y documentación insuficiente, que restringen la adopción más amplia de la herramienta

Tabla 2. Tabla resumen de buenas prácticas y desafíos observados de los casos de estudio

Dimensión	Universidad de Los Andes (Venezuela)	Universidad Nacional de Itapúa (Paraguay)	Universidad Nacional del Litoral (Argentina)	Elementos comunes
Contexto institucional	CIDIAT, instituto experimental con alta autonomía y 58 años de trayectoria	Universidad en zona fronteriza con Argentina, con desarrollo reciente del Observatorio del Agua	FICH ubicada en zona de inundación de los ríos Salado y Paraná, con sólida trayectoria en redes académicas	Instituciones con enfoque en recursos hídricos y experiencia en modelación
Catalizador inicial	Pérdida del modelo hidrológico diario previo utilizado en la institución	Iniciativa individual a través de una tesis de grado	Contacto en una reunión de RALCEA en México (2016)	Iniciativas impulsadas por actores específicos ("promotores")
Buenas prácticas				
Formación de capacidades	Desarrollo de capacidades internas para resolver problemas técnicos de la herramienta	Incorporación de las herramientas HydroBID en la formación universitaria regular	Cursos de posgrado y capacitaciones a funcionarios municipales y provinciales	Integración de la herramienta en actividades formativas
Colaboración multi-actor	Articulación con entidades gubernamentales a nivel técnico, superando tensiones políticas	Doble rol (academia-gobierno) de la persona líder que facilita la implementación	Función como puente entre diferentes niveles de gobierno y actores	Papel articulador de la universidad
Adaptación a limitaciones de datos	Técnicas avanzadas para aprovechar sensórica remota y completar series temporales	Identificación de la necesidad de proyectos de monitoreo previos a la modelación	Impulso a gobiernos para mejorar la recolección de datos y modelos digitales del terreno	Estrategias para abordar la escasez de información
Aplicaciones con impacto	Análisis de impactos del cambio climático en períodos de retorno; estudios para el lago de Maracaibo	Planificación territorial a nivel departamental	Modelación del delta del río Paraná; estudios de inundaciones urbanas	Orientación a problemas locales relevantes
Desarrollo de complementos	Programación de rutinas complementarias y mejoras de visualización	Adaptación de metodologías a contextos con datos limitados	Incorporación en sistemas de análisis más amplios	Capacidad para extender la herramienta base
Desafíos				
Limitaciones técnicas	Interfaces poco amigables; necesidad de migración a Python 3; problemas con formatos de archivos	Dificultades para resolver problemas técnicos por falta de soporte efectivo	Adaptación a diferentes condiciones de las cuencas estudiadas	Barreras para usuarios no especializados
Escasez y calidad de datos	Desarrollo de soluciones técnicas para superar esta limitación	Principal barrera para implementación efectiva; centralización de información en Asunción	Vacíos de información en ciertas áreas que limitan la aplicación	Desafío fundamental y generalizado
Sostenibilidad financiera	Dependencia de proyectos externos y dificultades por contexto económico nacional	Falta de presupuesto específico para monitoreo y modelación	Dificultades para mantener redes de colaboración sin financiamiento estable	Vulnerabilidad ante cambios en prioridades de financiadores
Fragmentación institucional	Tensiones político-institucionales que afectan la colaboración	Centralización de recursos y capacidades en la capital	Coordinación entre múltiples niveles gubernamentales	Complejidad del ecosistema institucional hídrico
Comunidad de práctica débil	Falta de mecanismos para compartir desarrollos y soluciones técnicas	Ausencia de plataformas para intercambio continuo de experiencias	Comunicación intermitente entre encuentros formales	Limitada capitalización del conocimiento colectivo
Condicionantes contextuales	Inestabilidad sociopolítica y económica del país	Sistema de información del agua en desarrollo incipiente	Cambios frecuentes en funcionarios por ciclos políticos	Factores externos que afectan implementación

7. Oportunidades de Cooperación con el Sector Privado

La revisión de casos hace repensar sobre qué alternativas pueden establecerse para fortalecer la colaboración entre diversos actores con iniciativas que permitan generar alientos de más largo plazo. Para colmar estas vacíos, la colaboración innovadora entre organismos públicos, empresas privadas e instituciones académicas se ha revelado una vía que podrían establecer soluciones sostenibles. Estas asociaciones tripartitas sirven como puntos de apalancamiento entre la autoridad reguladora y el mandato público de los organismos gubernamentales, la eficiencia operativa y la capacidad de inversión de las empresas privadas, y las capacidades de investigación y la experiencia en transferencia de conocimientos de las instituciones académicas, permitiendo generar sinergias entre los diversos actores.

7.1 Modelos Innovadores de Colaboración Público-Privada-Académica para transformar la gestión del agua

Varios modelos de colaboración que ofrecen marcos para asociaciones tripartitas eficaces en la gestión del agua y el saneamiento han sido promovidos en la región. Estos modelos muestran diversos enfoques de gobernanza, financiación e implementación que pueden adaptarse a diferentes contextos dentro de la región.

El **Modelo de los Fondos del Agua** representa uno de los marcos más exitosos de la región. Este enfoque, que se originó en Ecuador en 2000 con el Fondo del Agua de Quito (FONAG), reúne a empresas públicas de suministro de agua, empresas privadas e instituciones académicas para financiar la conservación de cuencas hidrográficas y garantizar una gestión sostenible del agua (Innovation for Sustainable Development Network, 2019; UNC School of Government, 2014). Desde entonces, los Fondos del Agua se han expandido a 25 lugares de nueve países latinoamericanos, movilizando más de 205 millones de dólares de 570 socios públicos y privados y protegiendo casi 707.000 acres críticos para la seguridad hídrica (CEO Water Mandate, n.d.). El éxito del modelo radica en su innovador mecanismo de financiación: un fondo fiduciario que recibe contribuciones constantes de los usuarios del agua, lo que garantiza la sostenibilidad financiera a largo plazo.

La **Alianza Fuente de Innovación**, liderada por el Grupo BID, crea una plataforma de colaboración que refuerza la capacidad de los proveedores de servicios para adoptar soluciones innovadoras, al tiempo que impulsa la oferta de tecnologías a través de alianzas entre startups, emprendedores, proveedores de servicios e inversores (IDB, 2025). Esta alianza recibe el apoyo de múltiples socios, entre ellos el Gobierno de Suiza, la Fundación FEMSA, la República de Corea, la Fundación Coca-Cola y los gobiernos de España e Israel. Su fuerza radica en conectar a los desarrolladores de tecnología con los usuarios finales, al tiempo que proporciona financiación para la implementación.

El **Modelo de Empresa Mixta** que implica la propiedad y gestión conjuntas de los servicios de agua entre entidades públicas y privadas, con el apoyo técnico de instituciones académicas. Colombia, Brasil y México (The World Bank, n.d.), son algunos de los ejemplos en este modelo permite compartir riesgos entre sectores, al tiempo que mantiene la supervisión pública de los servicios esenciales. La participación del mundo académico es fundamental en estas asociaciones, ya que contribuye a través de la investigación, la formación y la transferencia de tecnología.

En términos de estructuras de gobernanza, la región ALC ha desarrollado marcos institucionales innovadores que facilitan la colaboración efectiva entre los tres sectores. Los comités directivos multisectoriales con representantes de todos los sectores han demostrado ser fundamentales para asegurar una representación equilibrada y una toma de decisiones transparente, mientras que los comités técnicos asesores liderados por socios académicos proporcionan la evidencia científica necesaria para orientar las estrategias de implementación (Goldman et al., 2010; Kauffman, 2014). Estas estructuras se complementan con marcos de gestión descentralizada que respetan la significativa descentralización de las funciones hídricas en los países de ALC, así como mecanismos de participación comunitaria que integran el conocimiento local e indígena en los sistemas formales de gestión, reconociendo la importancia de la sabiduría tradicional en la gestión sostenible del agua (Cory, 2018; Minatta & Basani, 2020).

Los mecanismos de financiamiento en la región son igualmente diversos y han evolucionado para aprovechar las fortalezas de cada sector participante. Los esquemas de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE), donde los usuarios de agua pagan por las actividades de conservación de cuencas hidrográficas, han demostrado ser particularmente efectivos para generar recursos sostenibles a largo plazo (Echavarria et al., 2004; Wunder & Albán,

2008). Estos se complementan con enfoques de financiamiento mixto que combinan capital público y privado para reducir riesgos y maximizar el impacto, junto con modalidades de financiamiento basado en resultados donde los pagos están vinculados a resultados específicos y medibles (IDB Invest, 2020; World Bank, n.d.). Adicionalmente, la región ha sido pionera en el desarrollo de instrumentos financieros innovadores como bonos temáticos, bonos verdes y préstamos vinculados a la sostenibilidad, que han abierto nuevas fuentes de capital para proyectos de agua y saneamiento mientras alinean los incentivos financieros con los objetivos ambientales y sociales (CEPAL, 2023; Torres et al., 2024).

7.2 Casos de referencia que demuestran un impacto transformador en la región

Las colaboraciones exitosas entre los sectores público, privado y académico en materia de seguridad hídrica han demostrado un impacto mensurable en toda ALC, proporcionando valiosas lecciones para futuras iniciativas que cubre necesidades en distintos niveles. Estos casos ponen de relieve diferentes enfoques de colaboración a la vez que abordan diversos retos.

7.2.1 RALCEA

La Red para América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua (RALCEA) representa la red académica del agua más extensa de América Latina, coordinando 16 centros de excelencia en 12 países con 56 instituciones participantes en total (RALCEA, n.d.). Creada con financiación de la Unión Europea (2010-2014) y coordinado por el Centro Común de Investigación de la UE, RALCEA empareja Centros de Excelencia con Puntos Focales Políticos de instituciones gubernamentales.

La cobertura geográfica de la red abarca los diversos países latinoamericanos, con centros en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, México, Perú y Uruguay. La metodología de RALCEA hace hincapié en el intercambio de conocimientos entre los centros académicos y las instituciones políticas a través del aprendizaje basado en problemas, el desarrollo de estudios de diagnóstico y la asistencia técnica a las organizaciones de gestión del agua.

Los impactos cuantificables incluyen el establecimiento de 16 centros de excelencia consolidados, cursos de capacitación que llegan a cientos de profesionales, el desarrollo de sistemas de tratamiento de la calidad del agua y el saneamiento, y el fortalecimiento de las interfaces entre ciencia y política en la región. El elevado potencial de reproducción de la red se deriva de su marco operativo establecido y de su modelo de coordinación multinacional. Sin embargo, durante la revisión del caso de Argentina con la UNL, sus miembros revelan la importancia de generar formas de financiamiento que permitan fortalecer las sinergias de la Red. Si bien, la Red ha funcionado con el financiamiento inicial, la falta de financiamiento actual ha limitado el alcance de esta, lo que hace repensar la necesidad de establecer mecanismos sostenibles para su adecuado funcionamiento.

7.2.2 Ecuador, educación intercultural sobre el agua

La Universidad Amawtay Wasi de Ecuador ha puesto en marcha la primera carrera universitaria de América Latina dedicada específicamente a la gestión comunitaria del agua (Universidad Amawtay Wasi, n.d.). La Licenciatura en Gestión Comunitaria del Agua integra conocimientos indígenas y occidentales a través de un plan de estudios pluriepistemológico, ofreciendo especializaciones en Gestión Comunitaria del Riego y Gestión Comunitaria del Agua Potable y Saneamiento. Este innovador programa emplea un enfoque de "aprendizaje en, con y para la comunidad", combinando modalidades de aprendizaje virtuales y basadas en la comunidad. La estructura de la asociación hace hincapié en el diálogo intercultural entre sistemas de conocimiento académicos y no académicos, implicando directamente a las comunidades indígenas, afroecuatorianas y montubias de los territorios rurales de Ecuador (Universidad Amawtay Wasi, n.d.).

La importancia del programa radica en la capacitación directa de los líderes indígenas y de las comunidades rurales en materia de agua, integrando los conocimientos ancestrales sobre la gestión del agua con enfoques técnicos. El modelo demuestra un alto potencial de replicación en países con poblaciones indígenas significativas, ofreciendo un marco para los enfoques de gobernanza comunitaria del agua en toda América Latina.

8. Vías para Reforzar la Colaboración

Diversas áreas ofrecen un potencial significativo para la futura colaboración público-privada-académica en el sector hídrico en la región. Estas áreas representan oportunidades para abordar retos críticos al tiempo que se aprovechan los puntos fuertes de cada sector.

La transferencia de tecnología y la transformación digital presentan oportunidades inmediatas para una colaboración mejorada. La región está experimentando una creciente adopción de tecnologías digitales para la gestión del agua, con potencial para ganancias de eficiencia del 25% (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023). Las oportunidades específicas incluyen gemelos digitales e inteligencia artificial para el tratamiento de agua, como lo demuestra Ainwater de Chile, que utiliza inteligencia artificial para optimizar plantas de tratamiento de agua para servicios de saneamiento rural (BID, 2023). Adicionalmente, las tecnologías de infraestructura inteligente del agua pueden reducir la masiva pérdida del 45% de agua en los sistemas de distribución latinoamericanos (White & Case, 2024; IDB Invest, 2023), mientras que las tecnologías de tratamiento apropiadas para áreas rurales adaptan modelos como el sistema de alcantarillado condominal de Brasil para asentamientos informales (Banco Mundial, 2022).

Las plataformas de intercambio de datos y redes de monitoreo abordan la necesidad crítica de información confiable para apoyar la toma de decisiones. Los enfoques exitosos incluyen plataformas unificadas de datos de agua que estandarizan información entre agencias, redes regionales de monitoreo de agua como el Sistema de Información Rural de Agua y Saneamiento (SIASAR), marcos de intercambio de datos de agua transfronterizos que facilitan la colaboración transfronteriza, y el Índice de Salud del Agua Dulce, que se ha aplicado exitosamente en cuencas fluviales en Perú (Alto Mayo), Colombia (Bogotá) y Brasil (Guandu) (BID, 2023; SpringerLink, 2021).

Los modelos de financiamiento innovadores son esenciales para cerrar la brecha de inversión en infraestructura de agua y saneamiento en ALC, estimada en \$116-229 mil millones anuales para lograr acceso universal (Sanitation and Water for All, 2023; UN-Water, 2023). Los enfoques prometedores incluyen asociaciones público-privadas con asignación equilibrada de riesgos, como se demuestra en la región metropolitana de Recife en Brasil, bonos y préstamos temáticos para infraestructura de agua, como la exitosa emisión de bonos de \$500 millones de la empresa AySA de

Buenos Aires, mecanismos de financiamiento mixto como AquaFund, que ha apoyado más de 124 iniciativas, y microfinanzas para soluciones domésticas en áreas rurales (IDB Invest, 2023; Green Finance LAC, 2022; BID, 2023).

La resiliencia climática y la adaptación representan prioridades urgentes para la región, particularmente en las islas del Caribe donde las pérdidas de infraestructura debido a desastres naturales cuestan \$12.5 mil millones anualmente. Los enfoques colaborativos incluyen la integración de infraestructura verde-gris que combina infraestructura tradicional con soluciones basadas en la naturaleza, diseños resilientes al clima para infraestructura hídrica, y soluciones basadas en la naturaleza para suministro de agua, mejora de calidad y gestión de inundaciones (BID, 2023; Global Center on Adaptation, 2023).

El desarrollo de capacidades y el intercambio de conocimientos abordan los desafíos persistentes de capacidad técnica limitada y alta rotación de personal en las empresas de servicios públicos de agua. Los enfoques efectivos incluyen programas de capacitación técnica desarrollados conjuntamente por universidades, empresas de servicios públicos y proveedores de tecnología, modelos de gestión basados en la comunidad que construyen capacidad local para sostenibilidad financiera, intercambios de aprendizaje transfronterizo que transfieren conocimiento y mejores prácticas, e iniciativas de fortalecimiento de capacidades digitales que ayudan a los proveedores de servicios a adoptar soluciones innovadoras (CEPAL, 2023; BID, 2023).

9. Desafíos y Consideraciones

9.1 Barreras Institucionales y Normativas

El análisis de los casos de estudio revela que las barreras institucionales y normativas constituyen uno de los obstáculos más significativos para el establecimiento de colaboraciones efectivas y sostenibles entre las IES y las agencias nacionales de agua. La fragmentación del ecosistema institucional hídrico, caracterizada por la multiplicidad de actores con mandatos superpuestos y la ausencia de marcos normativos claros para la colaboración interinstitucional, limita considerablemente el potencial de estas alianzas estratégicas.

La complejidad jurisdiccional representa un desafío transversal en los tres casos analizados. En Venezuela, las tensiones político-institucionales han afectado la colaboración del CIDIAT con entidades gubernamentales, requiriendo un enfoque técnico despolitizado para mantener las relaciones de trabajo. En Paraguay, la centralización de recursos y capacidades en Asunción dificulta la implementación de proyectos en otras regiones, mientras que, en Argentina, la coordinación entre múltiples niveles gubernamentales (municipal, provincial, nacional) presenta desafíos constantes de articulación. Esta fragmentación se ve exacerbada por la alta rotación de funcionarios públicos debido a los ciclos políticos, lo que compromete la continuidad del conocimiento técnico y las relaciones institucionales construidas (Bretas et al., 2020).

Los marcos normativos existentes en la mayoría de los países de la región no contemplan específicamente los mecanismos para la colaboración público-académica en gestión hídrica, creando vacíos legales que dificultan el establecimiento de convenios de largo plazo. La ausencia de protocolos estandarizados para el intercambio de datos entre instituciones académicas y agencias gubernamentales constituye otra barrera significativa, especialmente en contextos donde la información hidrológica es considerada estratégica o sensible. Adicionalmente, los diferentes calendarios y ritmos de trabajo entre el sector académico y gubernamental generan desajustes temporales que complican la sincronización de actividades colaborativas.

9.2 Financiamiento y Sostenibilidad

La sostenibilidad financiera emerge como el desafío más crítico y transversal identificado en los tres casos de estudio, comprometiendo la continuidad y escalabilidad de las iniciativas de colaboración entre IES y agencias nacionales. La excesiva dependencia de financiamientos externos, coyunturales o vinculados a proyectos específicos genera una vulnerabilidad estructural que afecta la planificación a largo plazo y la consolidación de estas alianzas estratégicas.

Los casos analizados revelan diferentes manifestaciones de esta problemática. El CIDIAT en Venezuela enfrenta dificultades significativas debido al contexto económico nacional y la dependencia de proyectos externos con financiamiento internacional. La Universidad Nacional de Itapúa en Paraguay carece de presupuesto específico asignado para monitoreo hidrológico y modelación, mientras que la Universidad Nacional del Litoral en Argentina ha

experimentado dificultades para mantener redes de colaboración como RALCEA debido a la falta de financiamiento continuo post-financiamiento inicial de la Unión Europea.

Esta situación se enmarca en el contexto más amplio del limitado gasto en investigación y desarrollo en la región ALC, que en promedio alcanza solo el 0.58% del PIB (2017-2021), significativamente inferior al 2.72% promedio de los países OCDE (Pedró & Mendigutxia, 2024). Este escenario se atenúa cuando se observa que la mayoría de las instituciones de la región destinan menos del 1% de sus recursos a investigación, contrastando con casos excepcionales como la Universidad Nacional Autónoma de México que destina el 26.16% de su presupuesto a investigación, o la Universidade Federal de Minas Gerais con 9.65%.

La composición del financiamiento de I+D en la región, caracterizada por un financiamiento prominentemente público (51% sector gobierno, 17% educación superior, 26% sector privado), contrasta marcadamente con países desarrollados donde el sector empresarial representa entre 65%-70% del financiamiento (Pedró & Mendigutxia, 2024). Esta estructura de financiamiento limita las opciones de diversificación de fuentes y aumenta la vulnerabilidad ante cambios en prioridades gubernamentales.

La falta de mecanismos financieros innovadores específicamente diseñados para colaboraciones público-académicas en el sector hídrico representa otra limitación importante. Los esquemas tradicionales de financiamiento no contemplan las particularidades de estas alianzas, que requieren horizontes temporales extendidos, flexibilidad para actividades tanto de investigación como de transferencia tecnológica, y capacidad para financiar tanta infraestructura física como desarrollo de capacidades humanas.

9.3 Adaptación al Cambio Climático

Los desafíos relacionados con la adaptación al cambio climático añaden una dimensión de complejidad y urgencia adicional a la colaboración entre IES y agencias nacionales, requiriendo enfoques innovadores que trasciendan las capacidades tradicionales de cada sector individual. El cambio climático no solo exacerba los problemas existentes de gestión hídrica, sino que introduce nuevas variables de incertidumbre que demandan respuestas colaborativas más sofisticadas y adaptativas.

La aceleración de eventos extremos ha ocasionado pérdidas económicas importantes en la región: entre 2000 y 2019, las inundaciones causaron pérdidas por 650,000 millones de USD afectando a 1.6 millones de personas, mientras que las sequías afectaron a 1.4 millones de personas con pérdidas estimadas en 130,000 millones de USD (CRED & UNDRR, 2020). Estas cifras subrayan la urgencia de desarrollar capacidades colaborativas para la gestión de riesgos hidrometeorológicos que integren el conocimiento científico académico con la capacidad operativa de las agencias gubernamentales.

Los casos de estudio revelan que las instituciones académicas están desarrollando capacidades importantes para abordar estos desafíos climáticos. El CIDIAT ha realizado análisis de impactos del cambio climático en períodos de retorno para cuatro cuencas importantes de Venezuela (Caroní, Triotocuyo, Acarigua y Motatán), mientras que la Universidad Nacional del Litoral ha trabajado en estudios de inundaciones urbanas considerando escenarios de cambio climático. Sin embargo, estas iniciativas enfrentan limitaciones significativas para traducirse en acciones de adaptación a gran escala debido a las barreras institucionales y financieras previamente identificadas.

La brecha de conocimiento técnico entre tomadores de decisiones y avances científicos en gestión del agua se vuelve particularmente crítica en el contexto del cambio climático (Gholizadeh et al., 2016). Los responsables de formulación de políticas frecuentemente carecen de la experiencia técnica necesaria para comprender plenamente las capacidades y limitaciones de nuevas tecnologías, como las técnicas de teledetección para monitoreo de recursos hídricos, que son fundamentales para la adaptación climática. Esta brecha subraya la necesidad urgente de crear capacidades en la operacionalización de avances en ciencia y tecnología relacionados con la medición y gestión del ciclo del agua bajo condiciones climáticas cambiantes.

10. Recomendaciones

10.1 Instituciones de Educación Superior

Las instituciones de educación superior podrían mejorar en la forma que adoptan un enfoque estratégico y proactivo para maximizar su contribución a la seguridad hídrica regional y consolidar alianzas efectivas con las agencias nacionales de agua. Las recomendaciones específicas se organizan en torno a cuatro ejes fundamentales: fortalecimiento institucional, desarrollo de capacidades, innovación en colaboración, y sostenibilidad financiera.

Fortalecimiento del liderazgo institucional y especialización temática. Las IES deberán identificar a los diversos "promotores institucionales" que impulsen las iniciativas de colaboración con compromiso personal y conocimiento técnico especializado, tal como se evidenció en los tres casos analizados.

La integración curricular de herramientas y metodologías específicas para gestión hídrica debe ser prioritaria, particularmente en este caso la suite HydroBID funge como un conjunto de herramientas que permite integrar diversas sinergias, en el sector, a nivel universitario su incorporación en programas de pregrado y posgrado puede asegurar la formación continua de nuevos usuarios. Las IES pueden desarrollar programas académicos especializados que combinen formación técnica con capacidades de gestión y políticas públicas, preparando profesionales capaces de funcionar efectivamente en diversos niveles. La experiencia de la Universidad Amawtay Wasi en Ecuador, con su programa de Gestión Comunitaria del Agua, ofrece un modelo innovador para la integración de conocimientos tradicionales y técnicos en zonas rurales que pueden expandirse en distinto contextos.

Desarrollo de capacidades de investigación aplicada y transferencia tecnológica. Las IES pueden enfocar sus esfuerzos de investigación hacia problemas específicos identificados por las agencias gubernamentales, desarrollando soluciones contextualizadas que respondan a particularidades territoriales. Se recomienda establecer laboratorios de hidro-informática y modelación que puedan prestar servicios tanto educativos como de consultoría, siguiendo el ejemplo del desarrollo de herramientas complementarias observado en el CIDIAT. La suite HydroBID también ofrece la oportunidad de apoyar la investigación aplicada a través de las herramientas, usándola como herramienta cohesionadora entre distintos actores.

La creación de metodologías innovadoras para superar limitaciones de datos, debe ser una prioridad en el sector. Las IES podrían aprovechar su desarrollar capacidades en tecnologías emergentes como inteligencia artificial para tratamiento de agua, sistemas de monitoreo inteligentes y plataformas de intercambio de datos, posicionándose como líderes en la transformación digital del sector hídrico, un proceso que puede ser complementado a través de redes dentro de comunidades académicas.

Innovación en modelos de colaboración y articulación multiactor. Las IES podrían activamente, funcionar como espacios neutrales que faciliten la articulación entre diferentes niveles de gobierno, desarrollando metodologías específicas para el diálogo basado en evidencia que permita superar barreras jurisdiccionales y diferencias políticas. Se recomienda establecer mesas técnicas permanentes que incluyan representantes académicos, gubernamentales y del sector privado, con calendarios regulares de reunión y agendas de trabajo específicas.

El desarrollo de programas de intercambio y capacitación continua para funcionarios gubernamentales debe ser una prioridad, creando mecanismos para la actualización técnica que reduzcan la brecha de conocimiento identificada en los casos de estudio. Las IES deben establecer programas de pasantías bidireccionales que permitan a estudiantes y académicos trabajar en agencias gubernamentales, mientras funcionarios públicos participan en actividades de investigación universitaria.

Diversificación y sostenibilidad financiera. Las IES podrían desarrollar estrategias de diversificación de fuentes de financiamiento que reduzcan la dependencia de financiamientos externos coyunturales. La generación de ingresos a través de servicios de consultoría especializada a agencias gubernamentales y sector privado debe ser promovida como mecanismo de sostenibilidad.

Las IES podrán participar activamente en la formulación de propuestas conjuntas para financiamiento de organismos internacionales, desarrollando capacidades institucionales para la gestión de proyectos complejos multi-institucionales. La creación de consorcios académicos regionales para la gestión hídrica, siguiendo el modelo de RALCEA, pero con mecanismos de financiamiento más robustos, debe ser explorada como estrategia de fortalecimiento colectivo.

10.2 Agencias Nacionales

Las agencias nacionales de agua deben reconocer y aprovechar estratégicamente el potencial de las instituciones académicas como socios en el fortalecimiento de la gestión hídrica nacional, desarrollando marcos institucionales y operativos que faciliten colaboraciones efectivas y mutuamente beneficiosas. Las recomendaciones se estructuran en torno a la creación de marcos normativos habilitantes, el desarrollo de capacidades internas, la gestión de la información, y la planificación estratégica a largo plazo.

Establecimiento de marcos normativos y estructuras institucionales habilitantes. Las agencias nacionales deben activamente promover la creación de marcos normativos que regulen y faciliten la colaboración con instituciones académicas, estableciendo procedimientos claros para el intercambio de información, la realización de convenios de cooperación, y la participación de académicos en procesos de formulación de políticas.

Se recomienda desarrollar protocolos estandarizados para el intercambio de datos hidrológicos que balanceen las necesidades de acceso académico con consideraciones de seguridad nacional.

La creación de estructuras organizacionales específicas para la gestión de alianzas académicas, como direcciones de cooperación interinstitucional o coordinaciones de investigación aplicada, debe ser prioritaria. Estas estructuras deben contar con personal especializado en gestión de proyectos colaborativos y conocimiento tanto del sector académico como gubernamental. Las agencias deben establecer mecanismos formales que promuevan y atraigan la participación de académicos en comités técnicos asesores, consejos consultivos, y procesos de evaluación de políticas.

Fortalecimiento de capacidades internas y gestión del conocimiento. Las agencias nacionales deben invertir en el desarrollo de capacidades técnicas de su personal con el fin de facilitar la colaboración efectiva con instituciones académicas. Se recomienda establecer programas de capacitación continua en herramientas de modelación hidrológica como la suite HydroBID, en colaboración con universidades especializadas. La rotación controlada de personal técnico entre agencias y universidades debe ser promovida como mecanismo de transferencia de conocimientos y fortalecimiento de vínculos institucionales.

Las agencias deben desarrollar sistemas de gestión del conocimiento que permitan capitalizar los aprendizajes derivados de colaboraciones académicas, creando repositorios de buenas prácticas, metodologías validadas, y lecciones aprendidas que puedan ser replicadas en diferentes contextos. La sistematización de experiencias de colaboración exitosa debe ser prioritaria para facilitar el escalamiento de iniciativas piloto.

Modernización de sistemas de información y gestión de datos. Las agencias nacionales deben invertir en la modernización de sus sistemas de recolección, procesamiento y análisis de datos hidrológicos, aprovechando las capacidades académicas para el desarrollo de plataformas tecnológicas avanzadas. Se recomienda establecer sistemas de información hídrica nacional que integren datos de múltiples fuentes y permitan el acceso controlado por parte de instituciones académicas para fines de investigación.

El desarrollo de capacidades en análisis de big data, inteligencia artificial, y modelación avanzada debe ser realizado en colaboración estrecha con universidades, aprovechando su experticia en tecnologías emergentes. Las agencias deben promover la estandarización de formatos de datos y metodologías de recolección en coordinación con instituciones académicas, facilitando la interoperabilidad y comparabilidad de información a nivel regional.

Planificación estratégica y financiamiento sostenible. Las agencias nacionales deben desarrollar estrategias de largo plazo para la colaboración académica que trasciendan los ciclos políticos, estableciendo compromisos institucionales que garanticen continuidad independientemente de cambios administrativos. Se recomienda la creación de fondos específicos para investigación aplicada en colaboración con universidades, con asignaciones presupuestarias regulares que permitan planificación plurianual.

Las agencias deben promover la participación en redes regionales de cooperación hídrica, aprovechando las ventajas comparativas de la colaboración académica para el intercambio de experiencias y metodologías entre países. La formulación conjunta de propuestas para financiamiento internacional debe ser promovida como estrategia de obtención de recursos adicionales para iniciativas de modernización tecnológica y fortalecimiento de capacidades.

10.3 Sector Privado y Organismos de Cooperación

El sector privado y los organismos de cooperación internacional juegan un rol fundamental en la consolidación de alianzas estratégicas entre instituciones académicas y agencias nacionales, aportando recursos financieros, experticia tecnológica, y marcos de gestión que pueden potenciar significativamente el impacto de estas colaboraciones. Las recomendaciones se orientan hacia la creación de mecanismos de financiamiento innovadores, el desarrollo de plataformas de colaboración tripartita, y el apoyo al escalamiento de iniciativas exitosas.

Desarrollo de instrumentos financieros innovadores y sostenibles. Los organismos de cooperación internacional podrían diseñar instrumentos financieros específicamente adaptados a las características de las colaboraciones público-académicas en el sector hídrico, que reconozcan los horizontes temporales extendidos y la naturaleza multidimensional de estas alianzas. Se recomienda establecer fondos de investigación aplicada con componentes de financiamiento base y complementario por resultados, que permitan tanto la planificación de largo plazo como incentivos para la obtención de impactos específicos.

El sector privado debe explorar mecanismos de financiamiento de responsabilidad social empresarial específicamente orientados hacia el fortalecimiento de capacidades académicas en gestión hídrica, siguiendo modelos exitosos como la Fundación FEMSA en México. Las empresas que dependen intensivamente de recursos hídricos deben considerar inversiones en investigación universitaria como parte de sus estrategias de gestión de riesgos y sostenibilidad a largo plazo.

Los organismos multilaterales deben promover esquemas de financiamiento mixto que combinen recursos de cooperación internacional con inversiones del sector privado y contrapartidas académicas e institucionales, maximizando el apalancamiento de recursos y la sostenibilidad de las iniciativas.

Facilitación de plataformas de colaboración tripartita y transferencia tecnológica. Los organismos de cooperación podrían establecer plataformas regionales permanentes que faciliten el encuentro entre instituciones académicas, agencias gubernamentales, y sector privado para la identificación de oportunidades de colaboración y el intercambio de experiencias. Estas plataformas deben contar con secretarías técnicas especializadas y recursos

para la organización de eventos regulares, formación de capacidades, y sistematización de experiencias.

El sector privado debe participar activamente en la definición de agendas de investigación aplicada, aportando perspectivas sobre necesidades tecnológicas y oportunidades de mercado que orienten los esfuerzos académicos hacia soluciones con potencial de escalamiento comercial. Las empresas tecnológicas deben establecer programas de transferencia tecnológica hacia instituciones académicas, facilitando el acceso a herramientas avanzadas y capacitación especializada.

Los organismos de cooperación deben promover el desarrollo de incubadoras de innovación hídrica en universidades, proporcionando recursos para la validación de tecnologías, el desarrollo de prototipos, y la formación de emprendimientos que puedan escalar soluciones desarrolladas en contextos académicos. El apoyo a la participación de instituciones académicas latinoamericanas en redes globales de investigación hídrica debe ser prioritario para facilitar la transferencia de conocimientos y tecnologías avanzadas.

Apoyo al escalamiento y replicación de iniciativas exitosas. Los organismos de cooperación internacional deben desarrollar mecanismos específicos para el escalamiento de iniciativas piloto exitosas, proporcionando recursos técnicos y financieros para la replicación de modelos validados en diferentes contextos nacionales y regionales. Se recomienda establecer programas de intercambio Sur-Sur que faciliten la transferencia de experiencias entre instituciones académicas y agencias gubernamentales de diferentes países de la región.

El sector privado debe contribuir al escalamiento mediante la provisión de servicios especializados de consultoría, gestión de proyectos, y transferencia tecnológica que complementen las capacidades académicas y gubernamentales. Las empresas deben considerar la adopción de tecnologías y metodologías desarrolladas en colaboraciones académicas como parte de sus estrategias de innovación y diferenciación competitiva.

Los organismos multilaterales deben promover el fortalecimiento de redes existentes de colaboración hídrica que facilite el intercambio de buenas prácticas, y proporcione asistencia técnica para la replicación de modelos exitosos, garantizando recursos permanentes que incluya representación equilibrada de los sectores académico, gubernamental, y privado, asegurando su sostenibilidad y legitimidad a largo plazo.

11. Referencias

Alianza Lationamericana de Fondos de Agua. (2023). Encuentro de los Fondos de Agua LATAM 2023 en Colombia. Fondos de Agua de América Latina https://www.fondosdeagua.org/es/resultados-y_publicaciones/publicaciones/

Almeida-Filho, N. (2021). *Better futures:* University education for all in 2050? Expert consultation The Futures of Higher Education. UNESCO-IESALC. UNESCO-IESALC. <https://www.iesalc.unesco.org/en/futures-of-higher-education/expert-consultations/#.YPViHxPHxQI>

Ballestero, M., Mejía, A., Arroyo, V., Real, C., Garzón, C., & Sturzenegger, G. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina [workingPaper]. CAF; BID. <https://ikelsdspace.azurewebsites.net/handle/123456789/798>

Banco Mundial. (2023). Perú: Acciones Estratégicas para la Seguridad Hídrica (No. 2023). Banco Mundial.

Barrios Ordóñez, E. J., Salinas Rodríguez, S. A., Martínez, A., López Pérez, M., Villón Bracamonte, A., & Rosales Ángeles, F. (2015). Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de caudal ecológico y la asignación de agua al ambiente (Nota Técnica No. No BID-TN-864). BID. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/01/Programa-Nacional-de-Reservas-de-Agua-en-Mexico-experiencias-de-caudal-ecologico-y-la-asignacion-de-agua-al-ambiente.pdf>

Barron, A., Navarrete Salvador, A., & Ferrer-Balas, D. (2010). Sostenibilización curricular en las universidades españolas. ¿ha llegado la hora de actuar. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien., 7. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.iextra.18

Beynaghi, A., Trencher, G., Moztarzadeh, F., Mozafari, M., Maknoon, R., & Filho, W. (2015). Future sustainability scenarios for universities: Moving beyond the United Nations Decade of Education for Sustainable Development. Journal of Cleaner Production, 112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.117>

Bretas, F., Casanova, G., Crisman, T. L., Irujo, A. E., Martin, L., Miralles-Wilhelm, F., & Castillo, R. M. (2020). Agua para el futuro: Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe (Resumen ejecutivo). IDB Publications. <https://doi.org/10.18235/0002817>

Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P.,

Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution—Fast Track Initiative (Final Report) [Monograph]. WP-16-006.

<https://iiasa.dev.local/>

CEO Water Mandate. (n.d.). Water Action Hub | Quito Fund for the Protection of Water (FONAG). Retrieved May 22, 2025, from

<https://wateractionhub.org/organizations/1091/d/quito-fund-for-the-protection-of-water-fonag/>

CEPAL. (2023). Regional water action agenda: Towards universal access to clean water and sanitation. Regional Water Action Agenda: Towards Universal Access to Clean Water and Sanitation. <https://www.cepal.org/en/notes/regional-water-action-agenda-towards-universal-access-clean-water-and-sanitation>

CEPAL. (2024). Sesión 6 “Seguridad Hídrica, Resiliencia Climática y Experiencias ROSA”—Diálogos Regionales del Agua para América Latina y el Caribe 2024 [Text]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/notas/sesion-6-seguridad-hidrica-resiliencia-climatica-experiencias-rosa-dialogos-regionales-agua>

Cory, Z. (2018). Water Funds, field guide 2018. The Nature Conservancy.

CRED, C. for R. on the E. of D., & UNDRR, U. N. O. for D. R. R. (2020, October 12). The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019) | UNDRR.

<http://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>

Curry, M. W. (2008). Critical Friends Groups: The Possibilities and Limitations Embedded in Teacher Professional Communities Aimed at Instructional Improvement and School Reform. Teachers College Record, 110(4), 733–774.

Echavarria, M., Vogel, J., Albán, M., & Meneses, F. (2004). The impacts of payments for watershed services in Ecuador. International Institute for Environment and Development.

Embid, A., & Martín, L. (2017). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe: Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias. <https://hdl.handle.net/11362/41069>

Embid, A., & Martín, L. (2018). Lineamientos de políticas públicas: Un mejor manejo de las interrelaciones del Nexo entre el agua, la energía y la alimentación.

<https://hdl.handle.net/11362/44183>

Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), Article 8.
<https://doi.org/10.3390/s16081298>

Goldman, R. L., Benitez, S., Calvache, A., & Ramos, A. (2010). Waterfunds: Protecting watersheds for nature and people. The Nature Conservancy.

IDB. (2025). IDB | Two Innovative Solutions Win Challenge to Tackle Water and Sanitation Needs of Latin America.
<https://www.iadb.org/en/news/two-innovative-solutions-win-challenge-tackle-water-and-sanitation-needs-latin-america>

IDB Invest. (2020). Private Investment, a Solution to Water & Sanitation Challenges in Latin America & the Caribbean. Development Impact.
<https://idbinvest.org/en/blog/development-impact/private-investment-solution-water-sanitation-challenges-latin-america>

Ingvarson, L., Meiers, M., & Beavis, A. (2005). Factors affecting the impact of professional development programs on teachers' knowledge, practice, student outcomes & efficacy. *Education Policy Analysis Archives*, 13, 10–10.
<https://doi.org/10.14507/epaa.v13n10.2005>

Innovation for Sustainable Development Network. (2019). Ecuador Fund for Water Protection – FONAG.
<https://www.inno4sd.net/ecuador-fund-for-water-protection-fonag-429>

Kauffman, C. M. (2014). Financing watershed conservation: Lessons from Ecuador's evolving water trust funds. *Agricultural Water Management*, 145(C), 39–49.

Lomos, C., Hofman, Roelande H., & Bosker, R. J. (2011). Professional communities and student achievement – a meta-analysis. *School Effectiveness and School Improvement*, 22(2), 121–148.
<https://doi.org/10.1080/09243453.2010.550467>

Mahlknecht, J., González-Bravo, R., & Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: A Nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*, 194, 116824.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824>

McLaughlin, M. W., & Talbert, J. E. (2006). Building School-Based Teacher Learning Communities: Professional Strategies to Improve Student Achievement. Teachers College Press.

Minatta, A., & Basani, M. (2020). Innovation in Water, Sanitation, and Solid Waste: Assessment, Perspectives, and Opportunities for Latin America and the Caribbean. IDB Publications.
<https://doi.org/10.18235/0002514>

Miralles-Wilhelm, F., Castillo, R. M., & Machado, K. (2019). A CLEWS Nexus Modeling Approach to Assess Water Security Trajectories and Infrastructure Needs in Latin America and the Caribbean. IDB Publications.

<https://doi.org/10.18235/0001650>

Müller-Christ, G., Sterling, S., Van Dam-Mieras, R., Adomßent, M., Fischer, D., & Rieckmann, M. (2014). The role of campus, curriculum, and community in higher education for sustainable development—A conference report. *Journal of Cleaner Production*, 62, 134–137.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.029>

Pedró, F., & Mendigutxia, A. (2024). Contribución de las universidades a los sistemas nacionales de investigación en América Latina y el Caribe (No. 9; Documentos de Trabajo).

UNESCO IESALC.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000392046?posInSet=8&queryId=N-0bcde155-d31f-42bf-96b0-7143bfecc3af>

Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe (No. 178; Recursos Naturales e Infraestructura). CEPAL.

RALCEA. (n.d.). Acerca de la Red. RALCEA.ORG. Retrieved May 23, 2025, from <https://ralcea.org/acerca-de-la-red/>

Red Indices. (2024). Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) data. [Dataset].

<https://www.redindices.org/indicadores-comparativos/indicadores-comparativos-financiamiento>

Schneegans, S., Lewis, J., & Straza, T. (2021). Informe de la UNESCO sobre la ciencia: La carrera contra el reloj para un desarrollo más inteligente. UNESCO.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250_spa

Tellman, B., Bausch, J., Eakin, H., Anderies, J., Mazari, M., Manuel-Navarrete, D., & Redman, C. (2018). Adaptive pathways and coupled infrastructure: Seven centuries of adaptation to water risk and the production of vulnerability in Mexico City. *Ecology and Society*, 23.

<https://doi.org/10.5751/ES-09712-230101>

The World Bank. (n.d.). Public private partnership legal resource center.

Case Studies and Lessons Learned - Water. Retrieved May 22, 2025, from <https://ppp.worldbank.org/>

Torres, D., Pinzón, A., Silva, A., Frisari, G. L., Loo-Kung, R., Delgado, R., Ruíz, U., Rosales, R., & Hernández, Y. (2024). Practical guide to sustainable financial instruments for public credit and treasury offices. Regional Climate Change Platform and Economy and Finance Ministries. IDB.

UN Water, & UNESCO. (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua ; datos, cifras y ejemplos de acción (p. 15).

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659>

UNC School of Government. (2014). Water Funds: Financing FONAG in Ecuador – Environmental Finance Blog.

<https://efc.web.unc.edu/2014/07/18/water-funds-financing-fonag-ecuador/>

UNESCO. (2023). /Intergovernmental Hydrological Programme. UNESCO

<https://www.unesco.org/en/ihp>

UNESCO, I. H. P. (IHP). (2012). (Draft) Strategic Plan of the eighth phase of IHP (IHP-VIII, 2014-2021). WATER SECURITY:RESPONSES TO LOCAL, REGIONAL, AND GLOBAL CHALLENGES"STRATEGIC PLAN. International Hydrological Programme20thsession of the Intergovernmental Council(Paris, 4-7 June 2012). Intergovernmental Council of the Intergovernmental Hydrological Programme, 20th, Paris, 2012.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216434>

UNESCO IESALC, & THE. (2023). La contribución de las instituciones de educación superior a las ciudades y comunidades sostenibles (p. 101).

UNESCO UIS. (2024). UIS Statistics (No. Science,technology and innovation) [Dataset].

<https://data.uis.unesco.org/#>

Universidad Amawtay Wasi. (n.d.). Carrera de Gestión Comunitaria del

Agua. Universidad Amawtay Wasi. Retrieved May 23, 2025, from

<https://uaw.edu.ec/carrera-de-gestion-comunitaria-del-agua/>

Willaarts, B. A., Garrido, A., & Llamas, M. R. (Eds.). (2014). *Water for* Food Security and Well-being in Latin America and the Caribbean: Social and Environmental Implications for a Globalized Economy. Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9781315883137>

World Bank. (n.d.). Public-Private Partnership Resource Center. Public-Private Partnership Resource Center. Retrieved May 23, 2025, from

<https://ppp.worldbank.org/>

Wunder, S., & Albán, M. (2008). Decentralized payments for environmental services: The cases of Pimampiro and PROFAFOR in Ecuador. *Ecological Economics*, 65(4), 685–698.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.004>