

# **Un análisis de modelos hidrodinámicos y una propuesta de cambio cultural basada en predicciones: el caso de la inundación del Río Grande do Sul, Brasil**

*An Analysis of Hydrodynamic Models and a Proposal of Cultural Change based on predictions: The case of the Rio Grande do Sul Flood, Brazil*

*Uma análise de modelos hidrodinâmicos e proposta de mudança cultural baseada em previsões: o caso da enchente do Rio Grande do Sul, Brasil.*

Cristiano Trindade<sup>1</sup>

Recibido: 15/01/2025

Aceptado: 25/04/2025

**Resumen.** - El mayor episodio de crisis climática extrema en Brasil, las inundaciones y anegamientos en el estado de Rio Grande do Sul-RGS en mayo de 2024, han puesto en evidencia la urgente necesidad de repensar la infraestructura urbana y las prioridades de investigación en contextos de falta de acceso al conocimiento y planificación territorial desorganizada. Este estudio tiene como objetivo principal analizar la relación entre la gestión de inundaciones y la implementación de medidas estructurales y no estructurales. A través de una revisión bibliográfica sistemática, se identifican soluciones basadas en modelos hidrodinámicos con potencial de aplicación para prevenir y mitigar inundaciones en entornos urbanos. Asimismo, se realiza una evaluación crítica de las estrategias empleadas durante la gran inundación en Rio Grande do Sul, proponiendo alternativas más efectivas y sostenibles. El RGS también enfrenta problemas culturales con un efecto cascada – intentos graves de separatismo del resto de Brasil y constantes actos de machismo y racismo, con diversas muertes, debido al pensamiento de superioridad – que impactan en la gestión de crisis. A partir de este enfoque, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué papel desempeña la cultura en la gestión del conocimiento sobre inundaciones y drenaje, especialmente en relación con el uso de modelos hidrodinámicos? Esta cuestión da lugar a la propuesta de un modelo integrado de Inteligencia Cultural, Gestión del Conocimiento y Participación Social, orientado a optimizar el diseño y la implementación de planes de control de inundaciones. Inicialmente, tras un análisis comparativo con los modelos CRESTv2.1, HEC-RAS, MIKE 21, cGAN-Flood, se consideró la aplicación del modelo de pronóstico Hydropol2D; sin embargo, se identificaron limitaciones importantes, como la omisión de los efectos de la actividad agrícola sobre la dinámica hidrológica. En consecuencia, se sugiere reemplazar Hydropol2D por el modelo SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool), en combinación con el módulo de agua subterránea (GWFlow), el cual permite una simulación más precisa de los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos. Esta herramienta integrada no solo ofrece mayor capacidad para evaluar el impacto de usos del suelo y prácticas agrícolas, sino que también mejora la precisión en la modelación de escenarios de drenaje urbano.

**Palabras clave:** Cambio cultural, gestión del conocimiento, modelos hidrodinámicos, inteligencia organizacional, SWAT+ GWFlow, planificación urbana.

---

<sup>1</sup> Doctor en Estrategia y Gestión de Proyectos, Skema Business School, Lille (Francia), cristianotrindade@protonmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8025-7871>

**Summary.** - The largest episode of extreme climate crisis in Brazil, the floods and inundations in the state of Rio Grande do Sul-RGS in May 2024, have highlighted the urgent need to rethink urban infrastructure and research priorities in contexts of lack of access to knowledge and disorganized territorial planning. The main objective of this study is to analyze the relationship between flood management and the implementation of structural and non-structural measures. Through a systematic literature review, solutions based on hydrodynamic models with potential application to prevent and mitigate floods in urban environments are identified. Likewise, a critical evaluation of the strategies employed during the major flood in Rio Grande do Sul is carried out, proposing more effective and sustainable alternatives. The RGS also faces cultural problems with a cascading effect—serious attempts at separatism from the rest of Brazil and constant acts of machismo and racism, with several deaths, due to the belief of superiority—that impact crisis management. Based on this approach, the following research question is posed: What role does culture play in knowledge management about floods and drainage, especially in relation to the use of hydrodynamic models? This question gives rise to the proposal of an integrated Cultural Intelligence, Knowledge Management, and Social Participation model, aimed at optimizing the design and implementation of flood control plans. Initially, a comparative analysis of the CRESTv2.1, HEC-RAS, MIKE 21, and cGAN-Flood models was considered, and the application of the Hydropol2D forecasting model was considered. However, important limitations were identified, such as the omission of the effects of agricultural activity on hydrological dynamics. Consequently, it is suggested to replace Hydropol2D with the SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool) model, in combination with the groundwater module (GWFlow), which allows a more precise simulation of surface and subsurface hydrological processes. This integrated tool not only offers greater capacity to assess the impact of land uses and agricultural practices, but also improves the accuracy in modeling urban drainage scenarios. **Keywords:** cultural change, knowledge management, hydrodynamic models, organizational intelligence, SWAT+ GWFlow, urban planning.

**Keywords:** Cultural change, knowledge management, hydrodynamic models, organizational intelligence, SWAT+ GWFlow, urban planning.

**Resumo.** - O maior episódio de crise climática extrema no Brasil, as enchentes e inundações no estado do Rio Grande do Sul (RGS) em maio de 2024, evidenciaram a necessidade urgente de repensar a infraestrutura urbana e as prioridades de pesquisa em contextos de falta de acesso ao conhecimento e planejamento territorial desorganizado. O principal objetivo deste estudo é analisar a relação entre o manejo de enchentes e a implementação de medidas estruturais e não estruturais. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, identificam-se soluções baseadas em modelos hidrodinâmicos com potencial aplicação na prevenção e mitigação de enchentes em ambientes urbanos. Da mesma forma, realiza-se uma avaliação crítica das estratégias empregadas durante a grande enchente no Rio Grande do Sul, propondo alternativas mais eficazes e sustentáveis. O RGS também enfrenta problemas culturais com efeito cascata – sérias tentativas de separatismo em relação ao restante do Brasil e constantes atos de machismo e racismo, com diversas mortes, devido à crença na superioridade – que impactam o manejo de crises. Com base nessa abordagem, formula-se a seguinte questão de pesquisa: Qual o papel da cultura na gestão do conhecimento sobre enchentes e drenagem, especialmente em relação ao uso de modelos hidrodinâmicos? Esta questão leva à proposta de um modelo integrado de Inteligência Cultural, Gestão do Conhecimento e Participação Social, com o objetivo de otimizar o planejamento e a implementação de planos de controle de enchentes. Inicialmente, foi realizada uma análise comparativa dos modelos CRESTv2.1, HEC-RAS, MIKE 21 e cGAN-Flood, considerando-se também a aplicação do modelo de previsão Hydropol2D. Contudo, foram identificadas limitações importantes, como a omissão dos efeitos da atividade agrícola sobre a dinâmica hidrológica. Consequentemente, sugere-se a substituição do Hydropol2D pelo modelo SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool), em combinação com o módulo de águas subterrâneas (GWFlow), que permite uma simulação mais precisa dos processos hidrológicos superficiais e subterrâneos. Essa ferramenta integrada não só oferece maior capacidade de avaliação do impacto do uso do solo e das práticas agrícolas, como também aprimora a precisão na modelagem de cenários de drenagem urbana. **Palavras-chave:** mudança cultural, gestão do conhecimento, modelos hidrodinâmicos, inteligência organizacional, SWAT+ GWFlow, planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Mudança cultural, gestão do conhecimento, modelos hidrodinâmicos, inteligência organizacional, SWAT+ GWFlow, planejamento urbano.

**1. Introducción.** - Brasil, con su geografía diversa y extensos sistemas fluviales, es altamente propenso a riesgos hidrometeorológicos, incluyendo inundaciones (Marengo et al., 2021, 2020). A lo largo de los años, el país ha experimentado numerosas inundaciones catastróficas que han desempeñado un papel significativo en la configuración de sus marcos de gestión de desastres (Debortoli et al., 2017; Tompkins et al., 2008).

Webber et al. (2024) encontraron que el estado de Rio Grande do Sul (RGS) en Brasil experimentó la mayor crisis climática de su historia en abril y mayo de 2024. Los niveles de lluvia fueron extremadamente altos y las estrategias institucionales y de la sociedad civil fueron insuficientes para prevenir escenarios altamente destructivos, una catástrofe que causó grandes daños a la sociedad (Ferreira, 2024).

El impacto más grave y directo fue en la vida de las personas afectadas por inundaciones urbanas y rurales en ciertas áreas del estado (Figura I).

A finales de mayo de 2024, el número de muertes registradas se acercaba a doscientas personas, había muchas desaparecidas y más de 600.000 personas desplazadas de sus hogares (Sun et al., 2024).



Figura I. Inundación de Porto Alegre, en el Lago Guaíba --- fotografía de Douglas Rohers.

Rio Grande do Sul, como el resto de Brasil, sufre mucho la falta de conocimiento para gestionar sus inmensos recursos naturales y debido a eso la gente más pobre sufre muchas inundaciones. A diferencia de otros países latinos como Uruguay, Argentina, Chile y Portugal, a los brasileños realmente no les gusta leer. De todos los países de América del Sur, que ya es bastante deficitaria en el área de conocimiento pues sus culturas están más centradas en la comunicación verbal debido a la facilidad del idioma, Brasil es el país que menos lee según la Asociación Internacional de Lectura (Conselho Brasil Sul) - datos del 2000, y por eso está constantemente bajo el agua. En los últimos 20 años, 4.255 personas murieron como consecuencia de desastres ambientales en Brasil y otros 8 millones se quedaron sin hogar, según un estudio de la Secretaría Nacional de Defensa y Protección Civil. El índice representa una pérdida económica de R\$ 24 mil millones y 212 muertes al año, en promedio.

El número de accidentes que involucran aviones también es bastante alto (129 accidentes desde 1915).

Según la Asociación Internacional de Lectura Conselho Brasil Sul -datos de 2000-, mientras los brasileños leen en promedio 1 libro al año, chilenos, uruguayos y argentinos leen 4 libros en el mismo período. En comparación con los países más desarrollados, los lectores brasileños son aún más escasos: en los países desarrollados se leen alrededor de 20 libros al año por cada habitante.

La Cámara Brasileña del Libro (CBL, 2024), en la sexta edición de su estudio “Retratos de la Lectura en Brasil”, reveló que en los últimos cuatro años se ha producido una disminución de 6,7 millones de lectores, lo que implica que el 53% de la población no había leído ni una parte de un libro en los tres meses previos al estudio.

La falta de acceso al conocimiento y del deseo de adquirirlo, sumada a la abundancia de distracciones, además de la influencia de las playas (donde los latinos tienden a abrir bares y restaurantes en lugar de negocios), y la constante acumulación de información, dificulta la comprensión de los hechos. Por ello, la OCDE constató que Brasil es el país con mayor índice de creencia en noticias falsas entre 21 países (OCDE, 2024).

Según el IBGE (2020), en Brasil hay alrededor de 30 millones de personas analfabetas funcionales. Es muy extraño que Brasil, siendo la décima economía más grande del mundo, tenga 62,5 millones de personas (29,4% de la población brasileña) viviendo en la pobreza y, entre ellos, 17,9 millones (8,4% de la población) son extremadamente pobres (Banco Mundial, 2021).

Varios autores denuncian la indiferencia del gobierno hacia los más pobres y aquellos sin acceso al conocimiento en Brasil (Macedo, 2024; Silva e Silva, 2010; Menezes, 2019; Pitombeira e Oliveira, 2025; Souza, 2018; Libâneo, 2016). En Brasil, alrededor de 33 millones de personas viven sin acceso a agua potable y 100 millones de personas no tienen sistema de alcantarillado, según datos divulgados por el Instituto Trata Brasil.

En el caso que nos ocupa, en cuanto a la falla del sistema de protección de Porto Alegre, Capital do RGS, si se hubiera realizado la operación y mantenimiento, los efectos de la inundación se habrían minimizado.

De hecho, un documento firmado por más de 40 ingenieros y técnicos de saneamiento afirma que el sistema de protección contra inundaciones de Porto Alegre falló porque no recibió el mantenimiento necesario<sup>2</sup>.

El sistema cuenta con varias bombas y compuertas y la falla de solo una de ellas podría provocar el colapso del sistema. En particular, en el evento de mayo de 2024, de acuerdo con el Departamento Municipal de Agua e Esgoto- DMAE, una de las compuertas falló y el sistema eléctrico de la sala de máquinas no estaba diseñado para funcionar inundado. En este caso, para evitar el riesgo de descarga eléctrica, se apagó todo el sistema de bombeo, provocando un efecto cascada.

En entrevista, la Máster en Planificación Urbana y Regional, ingeniera Nanci Giugno explicó que “la ciudad cuenta con dos sistemas: compuertas y drenaje. Ambos no funcionaron”<sup>3</sup>.

Además de los procesos de operación y mantenimiento del sistema, un modelo de pronóstico de inundaciones es de gran valor para la gestión de inundaciones. Es posible, con un horizonte de previsión de 1-2 días, predecir con cierta precisión el impacto de las inundaciones en las ciudades.

Según Nonnemacher y Fan (2023), por cada real gastado en sistemas de prevención de inundaciones, se pueden ahorrar alrededor de R\$ 40,00 reduciendo los posibles daños por inundaciones en Rio Grande do Sul. Para una correcta prevención, un sistema que cuente con nuevas estaciones pluviométricas, un equipo con acceso a conocimiento relevante en Hidrología, Agricultura e Geografía y generación de resultados efectivos.

A nivel de pronóstico, es necesario no sólo pronosticar las precipitaciones, sino también el nivel del agua, la profundidad de las calles, manzanas y todo el sistema de infraestructura de las ciudades. En las ciudades que no cuentan con sistemas de protección contra inundaciones (es decir, diques), la previsión y la alerta, especialmente a la hora de viajar, son esenciales para reducir los impactos de las inundaciones. Para ello se necesitan datos precisos de estaciones de seguimiento y modelos adecuados y rápidos para predecir los efectos de la inundación. La acción conjunta de unas adecuadas previsiones y un correcto seguimiento de las estructuras de protección es la estrategia ideal para la gestión de inundaciones.

<sup>2</sup><https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/05/23/ingenheiros-affirmam-que-porto-alegre-nao-fez-a-mantencao-adequada-do-sistema-de-protecao-contra-inundacoes.ghtml>

<sup>3</sup><https://sul21.com.br/noticias/geral/2024/05/eu-nao-teria-aberto-as-comportas-diz-ex-diretor-do-dep-e-do-dmae>

Según una nota técnica titulada “Criterios hidrológicos para la adaptación al cambio climático: Lluvias e inundaciones extremas en la Región Sur de Brasil” publicada recientemente por Paiva et al. (2024) los proyectos de infraestructura o planificación a gran escala, para los cuales se suelen adoptar tiempos de retorno de 50 años o más, deben poder superar la mayor inundación de la historia, independientemente del tiempo de retorno estimado para esta inundación. Por definición, un tiempo de retorno (TR) es un intervalo de tiempo en años en el que una inundación ocurre en promedio al menos una vez.

La planificación urbana de las ciudades generalmente establece riesgos tolerables asociados a estos sistemas, de manera que los sistemas de microdrenaje (es decir, galerías pluviales, drenajes pluviales) se diseñan para tiempos de retorno del orden de 10 a 25 años, mientras que las obras de macrodrenaje, es decir, las asociadas Los ríos y canales con mayor magnitud suelen estar diseñados para tiempos de retorno del orden de 50 a 100 años. Con el cambio climático se debe revisar el concepto de riesgo tolerable para los proyectos de drenaje debido a la no estacionariedad de las precipitaciones. Es decir, es necesario un gran Proyecto de Macrodrenaje Urbano para hacer frente a incidentes de inundaciones.

Conceptualmente, es claro que es necesario disminuir el caudal de los cuatro ríos que fluyen sobre el lago Guaíba y luego sobre las seis estaciones de bombeo de agua cruda - EBAB (cinco en Guaíba y una en Jacuí), y también sobre las seis represas (tres en Bento Gonçalves). Para ello es necesario elaborar estudios detallados sobre el comportamiento hidrológico-hidráulico de las cuencas de cada uno de los ríos que sirvan de base para un enfoque integrado de la planificación de las cuencas hidrológicas, en particular de las aguas superficiales y subterráneas.

Rathore et al. (2025) enfatizan la necesidad crítica de una gestión integrada de cuencas hidrográficas y sistemas mejorados de pronóstico de inundaciones para mitigar los riesgos de inundaciones futuras.

Hay dieciocho represas en Rio Grande do Sul, y en mayo de 2024 seis se encuentran en situación de emergencia, con riesgo inminente de falla, una de las cuales ya se ha roto parcialmente. Debido a la gran pendiente de la cuenca del río Taquari-Antas, un gran volumen de escorrentía llega rápidamente al complejo de presas, especialmente cuando las lluvias se distribuyen con mayor intensidad en la cabecera de la cuenca, como ocurrió con este evento en mayo de 2024. Según una técnica publicada recientemente por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IPH) , algunas estaciones pluviómetros registraron acumulaciones de lluvia superiores a los 1000 mm en dos semanas. En varias temporadas, el volumen de precipitación en este corto período de tiempo fue superior al 40% del volumen esperado para todo el año. Algunos procesos de descarga de inundaciones pueden gestionarse en pequeños embalses a lo largo del río. Estos embalses no sólo atenúan los volúmenes de escorrentía, sino que también reducen la alta concentración de contaminantes transportados por la escorrentía y, por tanto, sus impactos en las operaciones de las plantas potabilizadoras. Sin embargo, en el caso de una gran inundación como la ocurrida en mayo de 2024, la solución de medidas estructurales como el uso de embalses es prácticamente inviable dado el gran volumen que sería necesario almacenar para tener mínimos efectos de mitigación. Las medidas no estructurales pueden ser el camino más coherente para el futuro y, en el caso particular de las medidas estructurales, se deben realizar estudios detallados para evitar posibles daños e impactos ambientales.

En consecuencia, Rathore et al. (2025) destacan que la intensidad creciente de eventos climáticos extremos, en gran parte impulsado por el cambio climático antropogénico, ha resultado en cambios en los patrones de precipitación. El cambio en el patrón contribuye a un aumento en la frecuencia y la gravedad de los eventos de inundación (Meng et al., 2025; Mitchell et al., 2006; Wasko et al., 29 2021).

Uno de los principales causantes de los gases de efecto invernadero son los fertilizantes químicos, y esta investigación sugiere el uso de polvo de roca como sustituto, particularmente en el cultivo Gaucho (RGS) donde los agricultores tienen mayor tendencia a utilizar fertilizantes rusos.

Este trabajo se divide en cuatro capítulos. La primera sección proporciona un análisis comparativo de modelos hidrodinámicos. La sección analiza la cultura brasileña, con foco en la cultura gaucha (RGS). La sección 3 aborda la importancia de los planes de emergencia estándar para la gestión de riesgos y la participación social basados en las prácticas de GC e IO. La sección 4 finalmente presenta los modelos Cultura – Conocimiento – Inteligencia (CCI) con base en lo expuesto en las secciones anteriores.

**2. Un análisis comparativo de modelos hidrodinámicos.** - Rathore et al. (2025) identifican las zonas afectadas por las inundaciones de mayo de 2024 en Porto Alegre, Brasil, utilizando técnicas avanzadas de teledetección y geoespaciales. Estos conjuntos de datos combinan observaciones de teledetección y datos geoespaciales auxiliares, cada uno de los cuales aporta información crucial para la delimitación precisa de la extensión de las inundaciones y la evaluación del impacto, mediante la integración de imágenes multiespectrales de Sentinel-1 SAR, Sentinel-2 y PlanetScope, y contornos derivados del DEM de Copernicus.

Chen et al. (2023) explican que el ciclo hidrológico es complejo y que los modelos hidrológicos precisos pueden ayudarnos a comprender mejor el ciclo hidrológico y a tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua.

Según Rennó y Suares (2022), un modelo hidrológico se puede definir como una representación matemática del flujo de agua y sus componentes sobre una determinada área de la superficie y/o subsuelo de la Tierra. En este sentido, los modelos hidrodinámicos, que resuelven las ecuaciones fundamentales del flujo, pueden ser utilizados para predecir el comportamiento de las inundaciones.

Existe una estrecha interrelación entre la modelización hidrológica, biológica y ecológica, ya que el transporte de materiales a través del agua está influenciado por actividades biológicas, que pueden aumentar o reducir la concentración de estos materiales. Además, el régimen de flujo del agua tiene un impacto en diversos hábitats.

Los modelos hidrodinámicos se construyen para analizar los procesos que ocurren cuando los fluidos fluyen, no limitándose a flujos "laminares", sino también a flujos "turbulentos", como los que se producen durante grandes inundaciones.

Los modelos hidrodinámicos ambientales son herramientas fundamentales para la gestión y planificación de intervenciones en cuerpos de agua naturales, ya que permiten analizar tres fenómenos clave (ROSSMAN, 2001):

- Circulación Hidrodinámica: Evalúa los cambios en las cantidades de movimiento (masa × velocidad), que generan variaciones en los niveles y corrientes del agua.
- Calidad del Agua: Examina el transporte de sustancias que afectan la composición del agua y su calidad.
- Procesos Sedimentológicos: Analiza los ciclos de erosión, transporte y deposición de sedimentos que afectan la morfología o morfodinámica.

El propósito de estos modelos es simular los movimientos, transportes, caudales y flujos de agua y sus componentes (gases, salinidad, nutrientes, calor, sedimentos, entre otros).

Stokes Oceanografía (2023) divide el proceso de modelización en 10 pasos: 1) Elaboración de un modelo conceptual del fenómeno; 2) Recolección de datos de entrada; 3) Definición de los límites del dominio numérico; 4) Digitalización del litoral o, en el caso de cuencas fluviales, utilización de modelos de elevación del terreno; 5) Construcción de una malla numérica para discretizar el espacio en intervalos finitos; 6) Generación de la batimetría de ríos, canales y embalses; 7) Definición de los escenarios de simulación y condiciones de contorno; 8) Configuración y montaje de rondas de simulación; 9) Análisis de los resultados; y 10) Repetición del proceso hasta que los resultados simulados se aproximen a los observados, para finalmente presentar los resultados.

En Brasil, el Portal HidroWeb es la fuente de datos más utilizada en estudios hidrológico-hidrodinámicos. Esta herramienta proporciona acceso a la información recopilada por la Red Hidrometeorológica Nacional (RHN), gestionada por la Agencia Nacional del Agua (ANA), como series históricas de caudales observados, batimetría, entre otros. Sin embargo, las observaciones de flujo no son los únicos datos necesarios para los modelos hidrológicos e hidrodinámicos. Es imprescindible contar con modelos más completos que incluyan el comportamiento de las cuencas fluviales, el contenido de humedad del suelo, las propiedades topográficas, el uso del suelo y los datos sobre la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, lo cual complica aún más el proceso de modelización. En países como Estados Unidos, se dispone gratuitamente de mapas y series completas de alta resolución a nivel nacional, lo que facilita la construcción de modelos de predicción de inundaciones.

Rathore et al. (2025), por ejemplo, utilizaron datos diarios de precipitación satelital de la colección GPM-IMERG Nivel 3 de Ejecución Tardía (<https://gpm.nasa.gov/data/directory/>) disponible con una resolución espacial de 10 km (Huffman et al., 2019) para examinar los eventos de precipitación extrema que provocaron inundaciones en Brasil (RGS) a principios de mayo de 2024.

Es importante señalar que no siempre estarán disponibles las series de datos de caudales para un río y período específicos. Los ríos pequeños, por ejemplo, no están incluidos en la red de monitoreo de la Agencia Nacional de Aguas - ANA. Sin embargo, es posible obtener estos datos indirectamente, mediante cálculos de proporcionalidad de áreas de cuencas cercanas o a través de curvas de lluvia y escorrentía. Estas "regionalizaciones" pueden servir para estimar caudales en ríos de menor tamaño, aunque en eventos extremos, estos métodos no son aplicables.

Getirana et al. (2012) señalan que las superficies de aguas abiertas dependen en gran medida de la geometría y topografía de los ríos. La geometría influye en la posibilidad de desbordamiento del río, mientras que la topografía determina el área inundada en función del volumen de agua desbordado. No obstante, ambos factores presentan limitaciones debido a los problemas con los datos de entrada requeridos. Los errores en los Modelos Digitales de Elevación (MDE) continúan siendo una de las principales fuentes de incertidumbre al modelar las interacciones entre ríos y llanuras aluviales. En particular, los MDE basados en satélites no son adecuados para proporcionar perfiles precisos de elevación de llanuras aluviales. El enfoque de "quema de llanuras aluviales", que toma en cuenta mapas detallados de ríos y llanuras, ha demostrado ser eficaz para ajustar gradualmente las elevaciones de los píxeles en zonas inundadas (Getirana et al., 2012).

Gomes Júnior et al. (2023) explican que los modelos hidrológicos, hidrodinámicos y de transporte de contaminantes son esenciales para la toma de decisiones en la mitigación de inundaciones y la mejora de la calidad del agua (Fan y Collischonn, 2014). Existen diversos modelos en la literatura que permiten cuantificar procesos hidrodinámicos a distintas escalas temporales y espaciales.

A nivel de eventos de respuesta rápida y cuencas urbanas, el modelo 2D de autómatas celulares ponderados (WCA2D) (Guidolin et al., 2016) utiliza un enfoque basado en autómatas celulares para distribuir la escorrentía y estimar mapas de inundación en la superficie del agua. Este modelo ha demostrado ser útil para realizar simulaciones de inundaciones a gran escala debido a su alto rendimiento computacional y bajo requerimiento de memoria, con un compromiso mínimo en precisión, lo que facilita realizar una gran cantidad de simulaciones para análisis de riesgos. Este modelo 2D de inundaciones terrestres se integra con el modelo 1D CADDIES para redes de alcantarillado, desarrollado por Austin et al. (2014), lo que proporciona un modelo simplificado de drenaje urbano para el modelado de inundaciones urbanas. Sin embargo, en grandes inundaciones, el efecto del micro drenaje se reduce significativamente frente a los grandes volúmenes de precipitación y escorrentía generados.

Un enfoque reciente de juegos serios es el desarrollado por Gomes Jr. (2024), que creó un juego para simular el colapso de una presa y permitir a los usuarios comprender la magnitud de la fuerza del agua que llegaría a una ciudad, su altura y velocidad. Este juego se aplicó a 21 represas, incluyendo Brumadinho y la represa 14 de Julho. Además, Gomes Junior et al. (2023) destacan el modelo HydroPol2D, que contribuye al campo de los modelos hidrológicos e hidrodinámicos al permitir el modelado 2D de inundaciones y calidad del agua, simulando la transferencia de impulso

de las llanuras de inundación, el cálculo de la infiltración y evapotranspiración distribuida espacialmente, así como el transporte y destino de contaminantes. Estos enfoques proporcionan un análisis más integrado del comportamiento hidrológico de las cuencas fluviales, contribuyendo a una mejor comprensión de los procesos que influyen en la escorrentía de los ríos.

HydroPol2D also advances hydroinformatics by creating a fully explicit numerical model coupled with an adaptive time-stepping method to guarantee numerical stability for the water quantity and quality models of HydroPol2D. Moreover, HydroPol2D also allows the use of Graphics Processing Unit (GPU) calculations and have open source versions in Matlab and Python (Gomes Junior et al., 2023).

El software HEC-RAS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, permite simular flujos bidimensionales a partir de la resolución numérica de ecuaciones de aguas someras. Este modelo incorpora varios factores, como la inercia, el gradiente de presión, los efectos gravitacionales, la fricción, la turbulencia y los efectos de Coriolis, que describen cómo las corrientes de agua y aire se comportan en diferentes hemisferios. Sin embargo, uno de los principales desafíos de HEC-RAS es su alto coste computacional, especialmente cuando se intenta simular inundaciones a alta resolución. Los detalles de las formulaciones y los esquemas numéricos utilizados en la versión 6.1.0 del modelo se describen en Brunner (2016).

Para la creación de un mapa topográfico compuesto, se fusionaron múltiples bases de datos. En la región del río Amazonas y en áreas de aguas abiertas de la llanura aluvial, se utilizó la topografía estimada por Fassoni-Andrade et al. (2020a), con una resolución espacial de 30 metros (disponible en [data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1](https://data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1)). Este mapeo fue realizado digitalizando cartas náuticas de los ríos y aplicando el método Flood2Topo (Fassoni-Andrade et al., 2020) a partir de datos ópticos satelitales (Gomes Júnior et al., 2023).

Lago et al. (2024) evaluaron el desempeño del modelo HEC-RAS comparándolo con un modelo propuesto que empleaba el cGAN-Flood para predecir inundaciones en siete cuencas urbanas de las ciudades de San Antonio y São Paulo. Los resultados mostraron que el uso de MAP junto con cGAN-Flood mejoró la precisión en los mapas de inundaciones, identificando las áreas inundadas y estimando las profundidades del agua. Sin embargo, el modelo subestimó en algunos casos el volumen total de inundación ( $V_t$ ). Además, el cGAN-Flood no es capaz de predecir velocidades de flujo, un parámetro clave para la generación de mapas de riesgo. Otra limitación es que el modelo cGAN-Flood solo fue entrenado para predecir la expansión de inundaciones, lo que restringe su uso en situaciones con variabilidad en los datos de entrada o cuando se requieren pronósticos de inundaciones más detallados.

Pese a estas limitaciones, cGAN-Flood demostró ser 50 y 250 veces más rápido que los modelos WCA2D y HEC-RAS, respectivamente. Sin embargo, para mejorar su aplicabilidad, se necesitan más investigaciones. El uso de herramientas de inteligencia artificial, que a menudo carecen de un aprendizaje profundo sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas fluviales, debe hacerse con cautela, dado el déficit de datos observacionales de calidad. La implementación a gran escala de estas técnicas requiere un escenario con amplios datos de monitoreo de inundaciones, donde se puedan entrenar modelos de aprendizaje automático basados en observaciones confiables del comportamiento de las cuencas.

En un estudio realizado por Fassoni-Andrade et al. (2023), se explicó cómo el modelo HEC-RAS utiliza una malla computacional no estructurada, cuya orientación y tamaño de las celdas varían según la topografía. Esto permite incluir saltos topográficos para definir la orientación de las celdas computacionales. Los investigadores también aplicaron pausas para digitalizar manualmente los contornos topográficos de las riberas de los ríos. En las zonas de llanura aluvial, las isolíneas correspondientes a umbrales de frecuencia de inundación del 90% y 60% fueron obtenidas a partir del mapa de frecuencia de inundaciones desarrollado por Fassoni-Andrade et al. (2020).

Los errores en la cartografía topográfica, las condiciones de los límites aguas abajo y la falta de representación de procesos hidrológicos en la llanura aluvial, como la infiltración local, la precipitación, la evaporación y el flujo de aguas

subterráneas, son fuentes de incertidumbre al modelar la extensión de las inundaciones. Esto es especialmente relevante durante períodos de escasez de agua (Fassoni-Andrade et al., 2023).

Por otro lado, Long et al. (2023) mejoraron las simulaciones de flujo mediante la combinación de modelos hidrológicos e hidrodinámicos. Construyeron un modelo hidrológico utilizando la herramienta de evaluación de la cuenca del lago Dongting (SWAT), que simula el flujo actual en áreas con pocos datos, y lo combinaron con el sistema hidrodinámico MIKE21, un modelo que incluye condiciones de contorno adicionales y ajusta las escalas características de los datos de entrada. Este enfoque de modelización es útil cuando se enfrenta la falta de datos en áreas específicas.

Un proceso comúnmente utilizado en la modelización es la regionalización (Arsenault et al., 2019) [2], que consiste en transferir información hidrológica desde áreas con datos de medición a aquellas que carecen de ellos (Bao et al., 2012; Yang et al., 2020) [3] [31]. Jillo et al. (2017) [19] aplicaron un modelo de lluvia-escorrentía en áreas de observación con escasos datos, utilizando este método de regionalización para estimar la producción de agua en zonas cercanas. Sin embargo, los resultados no fueron validados.

En la región del río Amazonas y en las zonas de llanura aluvial, se utilizó la topografía estimada por Fassoni-Andrade et al. (2020) con una resolución de 30 metros, disponible en el portal de Mendeley. Este mapeo fue creado mediante la digitalización de cartas náuticas de ríos y la aplicación del método Flood2Topo. En cuanto a los modelos combinados, los investigadores chinos, liderados por Yuannan Long, también emplearon el modelo SWAT para el análisis hidrológico en áreas de bajos datos, combinándolo con el sistema hidrodinámico MIKE21 para mejorar las simulaciones del flujo.

De Angelis y Gomes Júnior (2024) encontraron que el modelo HydroPol2D podría ser una solución de bajo costo para predecir el comportamiento hidrológico-hidráulico de las cuencas fluviales. Este modelo estima mapas de inundaciones con profundidades de agua en calles, barrios, canales y toda la cuenca hidrográfica. Investigaciones recientes utilizando HydroPol2D también se han centrado en generar mapas de riesgo cada 15 minutos, lo que permite una toma de decisiones más efectiva. Sin embargo, la calidad de los resultados podría mejorar si se contara con más datos. En el estado de Rio Grande do Sul, actualmente existen 1.700 estaciones pluviométricas y fluviométricas, pero solo el 25% de ellas transmiten datos en tiempo real, lo que limita el funcionamiento de los modelos hidrodinámicos, a menos que se utilicen datos proporcionados por la población a través de videos y fotografías (De Angelis y Gomes Júnior, 2024).

Otro modelo hidrodinámico conocido es CRESTv2.1. La versión más mejorada y ampliamente utilizada, CRESTv2.1, presentó múltiples avances, incluyendo (a) la implementación de parámetros distribuidos, (b) la sustitución de tres capas de suelo por una sola para reducir los requisitos de parámetros, (c) la inclusión de la relación de área impermeable, (d) la inclusión de un parámetro multiplicador de lluvia para mitigar el sesgo de forzamiento de la precipitación, y (e) la autocalibración, entre otros (Shen et al., 2017; Xue et al., 2013, 2016). El modelo CREST ha demostrado ser eficiente y eficaz en el monitoreo de inundaciones; sin embargo, presenta una serie de limitaciones que deben abordarse para seguir mejorando y simular adecuadamente ambos extremos hidrológicos. Por ejemplo, el modelo CREST pareció presentar ramas de caída mucho más pronunciadas en el hidrograma en comparación con los datos de observación (Chen et al., 2020); la estructura monocapa del suelo podría causar errores en las estimaciones de humedad del suelo, y la falta de simulación del almacenamiento y el enrutamiento de aguas subterráneas podría subestimar la cantidad de agua en simulaciones hidrológicas a largo plazo (Kan et al., 2017). Además, al considerar la gestión del agua para lograr la sostenibilidad, especialmente en regiones con precipitaciones fluctuantes en el tiempo, la modelización de las aguas subterráneas ya no es un componente insignificante (Asrie y Sebhat, 2016; Massuel et al., 2017).

Finalmente, Le Li et al. (2021) proporcionan nuevas perspectivas sobre las interacciones complejas y no lineales entre los procesos hidrológicos y los cambios ambientales. El modelo SWAT, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA), sigue siendo una de las herramientas más utilizadas para simular la dinámica de sedimentos y nutrientes en cuencas de macroescala, mesoescala y microescala (Arnold et al., 1998).

El modelo SWAT ha demostrado ser una herramienta valiosa para identificar los principales procesos hidrológicos que influyen en las cargas de nitrato en las zonas de estudio, especialmente durante las estaciones secas. Entre los datos clave requeridos para su implementación se incluyen el modelo de elevación digital (DEM), mapas de uso del suelo, mapas de tipos de suelo, datos meteorológicos diarios, registros de calidad del agua y prácticas agrícolas de manejo. En este estudio, se utilizó un DEM de 30 metros de resolución (Asmat V2), obtenido del sitio web del USGS (<http://www.usgs.gov>), para la delimitación de la cuenca (Le Li et al., 2021). No obstante, Castellanos-Osorio (2025) y Sánchez-Gómez (2024 y 2025) encuentran que la representación de las aguas subterráneas en el modelo base SWAT+ se ha señalado como una limitación importante. Según Yimer et al. (2023), los sistemas de drenaje agrícola son fundamentales para evacuar el exceso de agua subterránea y mantener niveles adecuados de oxígeno para el crecimiento de los cultivos. No obstante, estos sistemas también generan impactos ambientales e hidrológicos relevantes, como la disminución de lo volumen de agua subterránea y el incremento del transporte de contaminantes hacia aguas abajo.

Para evaluar estos efectos, los investigadores han recurrido a herramientas de modelado hidrológico más avanzadas, como el modelo SWAT+ acoplado al módulo de flujo subterráneo GWFlow. Este enfoque permite analizar cómo el drenaje agrícola puede agotar los niveles freáticos, alterando los procesos hidrológicos naturales. La construcción de modelos con y sin sistemas de drenaje agrícola facilita la evaluación de sus efectos sobre la geohidrología.

En el futuro, la investigación debería enfocarse en medir los flujos de drenaje y calibrar modelos geohidrológicos para mejorar la comprensión de las dinámicas entre agua subterránea y drenaje agrícola. Estas acciones ayudarían a reducir la incertidumbre en la predicción de los flujos de agua durante la estación seca y en otros componentes del balance hídrico. La cuantificación precisa del agua drenada es esencial para evaluar sus impactos ambientales.

Yimer et al. (2023) descubrieron que el drenaje agrícola es una práctica común para mejorar la productividad de los cultivos, ya que mejora la humedad del suelo y mantiene la zona radicular adecuadamente aireada. El drenaje de agua agrícola puede reducir significativamente los niveles de agua subterránea y afectar la hidrología de la cuenca. Por lo tanto, la construcción de modelos con y sin estas características puede indicar un impacto adverso en el proceso geohidrológico. Por lo tanto, el modelo independiente Soil Water Assessment Tool (SWAT+) se desarrolló inicialmente para simular el caudal en la salida de la cuenca de Kleine Nete. Posteriormente, se integró en el modelo SWAT+ un módulo de agua subterránea de base física y distribución espacial (gwflow) y se calibró para la descarga del caudal en la salida de la cuenca (Yimer et al., 2023).

En los estudios de caso analizados, el modelo SWAT+ acoplado con GWFlow mostró un mejor desempeño en comparación con la versión independiente de SWAT+ (Arnold, 1998). Además, Bailey et al. (2023) desarrollaron una versión avanzada del módulo GWFlow, físicamente fundamentada e integrada espacialmente con SWAT+, capaz de simular tanto el flujo superficial como el subterráneo a escala de cuenca, incorporando de forma explícita el drenaje agrícola en su estructura.

Sánchez-Gómez et al. 2025 encontraron que, entre los modelos hidrológicos a escala de cuenca, la herramienta de evaluación de suelos y agua (SWAT) es uno de los más utilizados (Arnold et al. 2012; Fu et al. 2019; Gassman et al. 2014). SWAT siempre fue capaz de simular algunas acciones de gestión (es decir, liberación de embalses, transferencias de agua, riego), si bien de una manera simplista y limitada (Neitsch et al. 2009). Por lo tanto, generalmente se combinaba con otro software (p. ej., Ashraf et al. 2017; Ayele et al. 2022; Dash et al. 2022; Phung et al. 2022; Zhang et al. 2023).

Una versión completamente reestructurada del modelo, SWAT+, se lanzó hace algunos años e incorpora nuevas capacidades (Bieger et al. 2017). La flexibilidad del modelo para simular acciones de gestión se ha mejorado notablemente en SWAT+. La simulación de embalses fue la tarea más desafiante de este trabajo debido a los múltiples factores involucrados (calibración del modelo, implementación de transferencias de agua, embalses aguas arriba, confiabilidad de los datos observados), además de las tablas de decisión. Las tablas de decisión de liberación construidas permitieron considerar diferentes escenarios y resultaron en una simulación precisa para muchos de los embalses simulados. La introducción de tablas de decisión de liberación en SWAT+ ha aumentado la flexibilidad para simular

estos elementos relevantes de la gestión hídrica. La simulación de embalses con SWAT se ha abordado en varios trabajos (p. ej., Liu et al., 2019; Marak et al., 2020; Zhang et al., 2012), pero las limitaciones de versiones anteriores de SWAT llevaron a cambios en el código (p. ej., Jordan et al., 2022; Kim et al., 2021; Wang et al., 2023) o a la incorporación de los modelos a otro software (Anand et al., 2018).

SWAT+ también fue utilizado para simular la operación de embalses por Wu et al. (2020), quienes presentaron las rutinas de embalses SWAT+ y desarrollaron e implementaron numerosas tablas de decisión de liberación para los EE. UU., incluyendo un procedimiento de calibración para las tablas de decisión (Sánchez-Gómez et al., 2025). Sánchez-Gómez (2024) encontró que los modelos hidrológicos se utilizan ampliamente para respaldar la gestión de los recursos hídricos, incluyendo la evaluación de los impactos de los escenarios (Hakala et al., 2019; Molina-Navarro et al., 2018). La representación del proceso del modelo, sus limitaciones, los supuestos realizados por el modelador y otros factores como los procedimientos de calibración contribuyen a la incertidumbre en las predicciones del modelo (Goderniaux et al., 2015; Hakala et al., 2019; Karlsson et al., 2016; Mendoza et al., 2015; Smerdon, 2017).

Para reducir la incertidumbre de la simulación, se deben analizar múltiples variables de salida, garantizando que la cuenca modelada y sus características se reproduzcan de la forma más realista posible (es decir, el balance hídrico, los componentes del caudal y otras variables hidrológicas clave) (Arnold et al., 2015). Un procedimiento recomendado para garantizar que los modelos funcionen correctamente para una variable específica (p. ej., el caudal) por las razones correctas (p. ej., contribuciones realistas de la escorrentía superficial y el caudal subterráneo) es la calibración suave (SC) en el que los parámetros del modelo se restringen con base en información blanda antes de realizar una calibración dura (HC) (Chawanda et al., 2020; Sanchez-Gomez et al., 2025).

Castellanos-Osorio (2025) va en la misma dirección y encontró que el acoplamiento de SWAT+ con el nuevo módulo GWFLOW mejora la interacción agua superficial-subterránea. • Un enfoque de calibración basado en FDC ayuda a reproducir con precisión el caudal base del modelo. Los enfoques de calibración de los modelos (1) SWAT+ y (2) SWAT + GWFLOW se centraron en ajustar los caudales bajos, lo que permitió una mayor precisión en los caudales diarios para estimar los caudales ambientales. Además, uno de los principales desafíos fue la necesidad de datos piezométricos para definir mejor las condiciones de contorno iniciales e información geohidrológica completa sobre el área de estudio, que podría variar significativamente. Una simulación precisa de la hidrología depende de estos datos. El modelo acoplado SWAT + GWFLOW exhibió una precisión superior en todo el hidrograma, capturando condiciones de caudal alto, medio y bajo con mayor precisión que el modelo independiente. La inclusión de la dinámica del agua subterránea mediante el módulo GWFLOW mejoró significativamente la simulación del caudal base, lo que resultó en una representación realista del balance hídrico de la cuenca. Por lo tanto, el modelo SWAT + GWFLOW es una herramienta eficaz no solo para la estimación del caudal ambiental, sino también para la planificación hidrológica y la toma de decisiones en cuencas donde los procesos hídricos subterráneos son críticos (Castellanos-Osorio, 2025).

Yimer et al. (2023) encontraron que el modelo SWAT+gwflow representa el caudal de un pozo en gran parte de la cuenca del Escalda. Además, el conjunto de datos cuadriculados arrojó resultados satisfactorios al forzar el modelo (geo)hidrológico, lo que sugiere su utilidad para dichos estudios regionales. Finalmente, el hecho de que el uso del conjunto de datos global (disponible para cualquier ubicación) para el desarrollo del modelo diera como resultado una simulación precisa del caudal y la carga hidráulica indica la oportunidad de aplicar este modelo acoplado en regiones con escasez de datos (que carecen de información sobre estudios geológicos y propiedades de los acuíferos).

El modelo acoplado SWAT+GWFLOW debe articularse en la práctica con la Gestión del Conocimiento Agrícola e Hidráulico, tanto en términos de compartir como de crear y aplicar este conocimiento, como la comprensión del drenaje agrícola en toda su estructura (procesos hidrológicos superficiales y subterráneos). Todas estas formas de abordar el conocimiento están fuertemente impactadas por la cultura, como se verá a lo largo del trabajo. Por eso, si la cultura es muy cerrada o tiene dificultades en estos tres procesos, es importante desarrollar la inteligencia cultural, que trata de la capacidad de conocer, adaptar y comparar-retener lo bueno en términos de valores, supuestos, tradiciones y creencias de otras culturas. Las medidas estructurales (como las obras hidráulicas) y las estrategias no estructurales (como los programas educativos y de transferencia de conocimientos) dependen de la voluntad del sector público y privado, tanto

en términos de aprendizaje como de inversión. Puede que no haya tal interés porque gastar en esas medidas puede tener una ganancia menor que utilizar los recursos para una campaña electoral basada en obras que lleguen a los formadores de opinión de la sociedad y no a la población ribereña, que es pobre y no tiene acceso al conocimiento.

Muchos residentes viven muy cerca del agua, a veces incluso en contra de las normas, por lo que es necesario entender cómo se puede gestionar mejor la urbanización y la impermeabilización del suelo. Además, falta una buena comunicación por parte de las autoridades públicas para instruir a la población sobre cómo reducir los riesgos y cómo comportarse en determinadas situaciones. La importancia de una cultura de prevención y predicción es fundamental, pero esto requiere capacitación de todas las personas involucradas y campañas gubernamentales para cambiar la cultura nacional. Silveira y Dewes (1993) explican que uno de los primeros intentos de realizar una gestión integrada de los recursos hídricos en Rio Grande do Sul surgió en 1971 a través de la iniciativa del CEEIBG - Comité Ejecutivo de Estudios Integrados de la Cuenca del Guaíba. El CEEIBG tuvo como objetivo mejorar la calidad ambiental de la cuenca del río Guaíba, buscando compatibilizar las actividades desarrolladas por entidades federales, regionales, estatales y municipales con el uso integrado de los recursos hídricos y la preservación de la calidad del agua. Más recientemente, la Ley nº 10.350 del 30 de diciembre de 1994 instituyó el Sistema Estatal de Recursos Hídricos, reglamentando el artículo 171 de la Constitución del Estado de Rio Grande do Sul, modificada por la Ley nº 11.560 del 22 de diciembre de 2000 y por la Ley nº 11.685 del 8 de noviembre de 2001. Aún más recientemente, se creó el Plan Estatal de Recursos Hídricos (PERH), un instrumento de gestión previsto en las Leyes Estatal y Federal de Aguas (Ley Estatal nº 10.350/1994 y Ley Federal nº 9.433/1997) que tiene como objetivo orientar la implementación de la política de recursos hídricos y la gestión del agua, definiendo los objetivos, principios y directrices a nivel estatal. Sin embargo, como se puede observar, el informe de sequía más reciente disponible en el Portal SEMA es de 20211. Este informe solo incluye Análisis y Pronóstico Meteorológico con algunos hidrogramas de los principales ríos de Rio Grande do Sul. La Secretaría de Estado de Medio Ambiente e Infraestructura (Sema) fue creada en 1999 y es el órgano central del Sistema Estatal de Protección Ambiental (Sisepa), responsable de gestionar la política ambiental en Rio Grande do Sul.

### **3. El preocupante movimiento separatista en Rio Grande do Sul y el impacto de la mayor inundación del Estado.**

- El Movimiento por la Independencia de la Pampa (MIP) fue creado en 1990 por Irton Marx, y defiende la separación del estado de Rio Grande do Sul del resto de Brasil y ya ha conseguido más de un millón de firmas en ese sentido1. El grupo más conocido es el Movimiento Gaucho Tradicionalista (MTG). El tradicionalismo gaucho es considerado por sus miembros como el movimiento cultural popular más grande del mundo en la actualidad. Oliven (2006), basado en información del folclorista y tradicionalista Lessa (1985), refiere la participación directa de dos millones de personas en el MTG – y en su sitio web menciona la existencia de 1.400 entidades tradicionalistas afiliadas. Según los tradicionalistas, el culto a las tradiciones gauchas ocurre en Nueva York, Lisboa, París y Japón, como consecuencia de la “diáspora” de gauchos de Rio Grande do Sul por Brasil y el mundo (Kaiser, 1999). El sociólogo Luvizotto (2009) investigó la etnicidad y el separatismo en la cultura gaucha, analizando cómo interactúan en el contexto del movimiento que pretende emancipar a Rio Grande do Sul del resto de Brasil. Para el gaucho, el “brasileño” es el otro, el extraño, la persona distante que no forma parte de ese espacio y de esas relaciones. Hablamos de ese otro sin miedo, se permite criticar, acusar y nombrar: “El ‘brasileño’ es lento, travieso, perezoso” (Luvizotto, 2009). Esto se debe a que RGS está arraigada en tradiciones muy fuertes que considera generan mayor honestidad que el resto del país, cuyas características de personalidad fueron identificadas por Lourenço et al. (2019) como: sensual, astuta, alegre, creativa, hospitalaria, amigable y cordial. La amabilidad, para ocultar la falta de conocimiento, fue identificada por Buarque de Holanda (1936 ) en el libro Raíces de Brasil, lo cual fue ratificado por Gylberto Freire ( 2010 y 2015) y Caio Junior (1945). En Brasil, algunos críticos han comprendido el impacto de la cultura en el comportamiento. Freitas (1997), aunque reconoce el carácter diverso y heterogéneo de la cultura brasileña, concluyó que los rasgos nacionales para un análisis organizacional serían: jerarquía, personalismo, astucia, sensualidad y espíritu aventurero. El perfil del brasileño típico, delineado por Buarque de Holanda (1975) como una oposición simétrica al ascético protestante norteamericano, tiene las siguientes características: individualismo personalista, búsqueda de placeres inmediatos, desprecio por la comunidad y los ideales a largo plazo.

Si bien esto ha cambiado un poco en las últimas dos décadas, históricamente Brasil no estaba integrado ni cultural ni económicamente con las demás naciones de la región. Muchos brasileños ni siquiera se identificarían como

latinoamericanos. Durante más de un siglo, Brasil compitió por la supremacía sobre Sudamérica. Sin embargo, desde la Copa del Mundo (2014) y los Juegos Olímpicos (2016) en adelante, Brasil y Perú se han convertido en socios económicos y sociales a través de un alto nivel de corrupción a través de la empresa brasileña más grande: el escándalo de Odebrecht en Brasil es uno de los casos de corrupción corporativa más grandes de la historia. The Mechanism es una serie de televisión brasileña de drama político creada por José Padilha y Elena Soarez (2018), inspirada libremente en hechos reales, sobre Un escándalo estalla en Brasil durante una investigación de presunta corrupción gubernamental a través de empresas petroleras y de construcción. José Padilha tuvo que fugir del país porque también reveló como el gobernador arrojó las favelas para evitar a la oposición social contra él. Neves Costa, Ferreira & Pontes de Campos (2024) explican que una operación "lavado de autos" conducida por Juiz Sergio Moro, mayor operación contra una corrupción en Brasil que comenzó a principios de 2014 y se extinguió en 2021, solo podría compararse con las "manos limpias" de Italia, ya que las dos culturas tienen muchas similitudes (Bertone, 2010). Una vasta e intrincada red de corrupción quedó gradualmente al descubierto para sacudir la frágil democracia hasta sus cimientos (Neves Costa, Ferreira & Pontes de Campos, 2024).

En 2021, el Supremo Tribunal Federal consideró que el entonces juez Sérgio Moro actuó de forma parcial al juzgar al expresidente Lula, lo que resultó en la anulación de las pruebas producidas bajo su liderazgo en la Lava Jato y el cese de la Operación.

**4. El modelo Cultura–Conocimiento–Inteligencia (CCI) y la Gestión del Conocimiento en el Contexto de Desastres.** - Roland (2000) aportó explicaciones prácticas sobre la formación de las culturas y la relación entre el Estado, el conocimiento y la inteligencia. Diversos estudios han vinculado factores históricos y ecológicos con la evolución de culturas colectivistas o individualistas. Fincher et al. (2008) y Murray y Schaller (2010) encontraron que los países con una alta prevalencia de patógenos antes del siglo XX tendieron a desarrollar culturas más colectivistas. La lógica subyacente es que, en contextos de alta carga patógena, las normas colectivistas—caracterizadas por el control del comportamiento individual y una actitud más cerrada hacia los extraños—ofrecen ventajas adaptativas al limitar la propagación de enfermedades. Otras explicaciones sobre el origen del colectivismo e individualismo incluyen factores agrícolas y ecológicos. Por ejemplo, Talhelm et al. (2014) argumentan que las sociedades basadas en el cultivo del arroz, que requiere mayor coordinación y trabajo colectivo, desarrollan una orientación más colectivista, en contraste con las culturas del trigo. Asimismo, Buggle (2015), retomando ideas de Wittfogel (1957), sugiere que la necesidad histórica de sistemas de riego extensivos favoreció la aparición de estructuras sociales más centralizadas y colectivistas. En cambio, Knudsen (2017) halló que una fuerte dependencia histórica de la pesca está más asociada con culturas individualistas, dado que esta actividad promueve la autonomía.

Roland (2000) también propuso que la geografía influyó en si las sociedades se desarrollaban bajo sistemas estatistas o de mercado. Aquellos países que hoy requieren una gobernanza estatal más fuerte tienden a poseer culturas más colectivistas, mientras que donde florecieron sistemas de mercado emergieron culturas más individualistas. En América del Sur, por ejemplo, los marcos legales tienden a centrarse en disputas entre individuos, como los conflictos por propiedad, lo cual refleja una orientación cultural individualista. Desde un enfoque antropológico, Edward Tylor fue el primero en definir la cultura en su obra Primitive Culture (1871), considerándola un fenómeno natural que puede estudiarse científicamente. Tylor sostiene que la cultura sigue patrones y causas regulares, lo que permite formular leyes sobre su evolución. Kroeber, por su parte, entendía la cultura como un proceso acumulativo resultado de las experiencias históricas de generaciones previas. Este proceso, según él, moldea o limita la creatividad individual. Tanto Kroeber como Félix Keesing coincidieron en que no existe una relación genética con la cultura: cualquier persona puede adoptar la cultura del lugar donde crece, independientemente de su origen biológico. Kroeber incluso sostiene que la cultura es lo que realmente distingue al ser humano de los animales, ya que le permite trascender sus limitaciones biológicas.

De estas ideas se desprenden cinco principios clave:

1. La cultura, junto con la herencia genética, determina el comportamiento humano y sus logros.
2. El ser humano actúa conforme a normas culturales; sus instintos han sido modulados por un prolongado proceso evolutivo.
3. A través de la adquisición cultural, el aprendizaje supera la influencia de comportamientos genéticamente determinados.
4. Como se reconoce desde la Ilustración, es el aprendizaje —ya sea por socialización o endoculturación— lo que determina el comportamiento humano y sus capacidades.
5. La cultura es un proceso acumulativo que puede tanto estimular como restringir la creatividad individual.

En términos de desarrollo económico, diversos académicos coinciden en que los gobiernos deben colocar a la ciencia en el centro de sus estrategias de crecimiento y recuperación económica. La ciencia genera conocimiento, y este, a su vez, impulsa la innovación, mejora la calidad de vida, fortalece la democracia, impulsa el crecimiento económico y aporta soluciones a problemas complejos. Sin embargo, Rothberg y Erickson (2004) advierten que el conocimiento, por sí solo, es estático y sólo adquiere valor cuando se aplica.

En 1989, Richard Ackoff propuso una taxonomía ampliamente aceptada en el campo de la gestión del conocimiento (Knowledge Management, KM), que distingue entre datos, información, conocimiento e inteligencia. Según Davenport y Prusak (1998), los datos son registros objetivos y discretos de eventos; en organizaciones, suelen ser transacciones estructuradas. La información, en cambio, se entiende como un mensaje —en forma de documento, comunicación visual o auditiva— que tiene un emisor y un receptor.

El conocimiento va más allá: es una combinación dinámica de experiencias, valores, información contextual y conocimientos técnicos que permite interpretar y aplicar nueva información. Este conocimiento se forma en la mente de los individuos y es inherentemente complejo, estructurado e intuitivo, por lo que no siempre puede ser articulado de forma clara o lógica (Davenport et al., 1998).

La transformación del conocimiento en inteligencia implica un proceso humano de interpretación, análisis, integración, predicción y acción. La información se contextualiza según los valores y criterios de quien toma decisiones, quien luego aplica este conocimiento en situaciones concretas para generar inteligencia. Rothberg y Erickson (2004) subrayan que el conocimiento se construye socialmente mediante colaboración, pero carece de valor si no se aplica. En resumen, el conocimiento constituye la base de la inteligencia, mientras que la inteligencia representa el conocimiento en acción para resolver problemas.

Choo (2002) define la inteligencia como un ciclo continuo de actividades que incluye la percepción del entorno, la construcción de conocimiento y la generación de sentido a partir de la interpretación, todo ello apoyado en la memoria de experiencias pasadas.

A partir de estos fundamentos teóricos, se construye el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI), ilustrado en la Figura 1.

Las premisas fundamentales del modelo CCI son:

- (i) La cultura se compone de creencias, valores, supuestos y tradiciones de una sociedad (Schein, 1985).
- (ii) Para que la educación cumpla su función transformadora, el currículo debe ser reorganizado en torno a los cuatro pilares del aprendizaje: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser (Nan-Zhao, 2000).
- (iii) La inteligencia se sostiene sobre tres pilares fundamentales: predicción, estrategia y acción (Rothberg y Erickson, 2004).

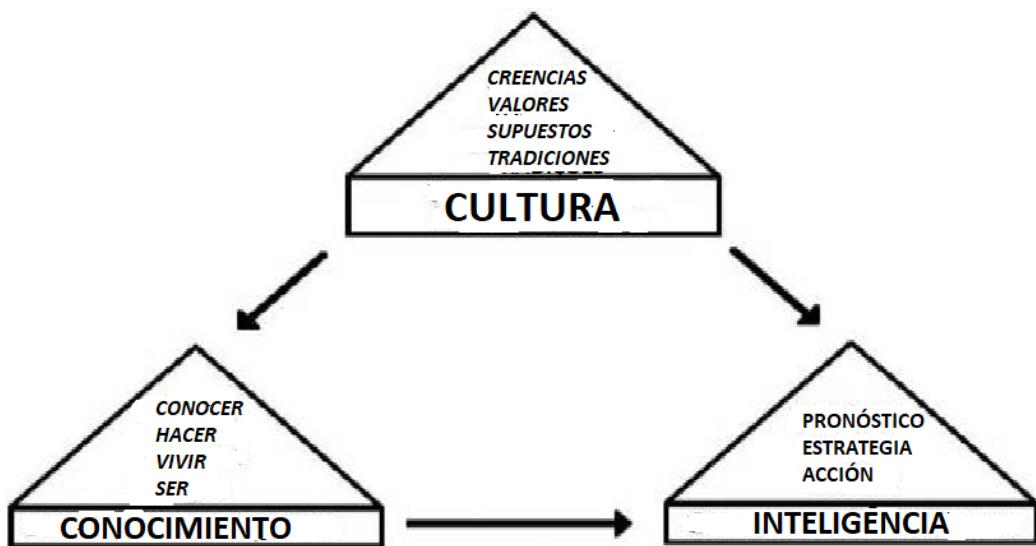


Figura II. El modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (adaptado de Choo, 1998)

El modelo CCI se fundamenta en tres hipótesis clave (Tabla I).

Hipóteses	Fuentes	Resultados
La cultura tiene un impacto positivo en el conocimiento	El éxito de la implementación de un sistema de gestión del conocimiento depende estrechamente de Análisis crítico de la cultura organizacional existente (de Ré et al., 2017).	SOPORTADO
El cambio cultural tiene un impacto positivo en la inteligencia	La cultura afecta los comportamientos organizacionales y sociales, cómo actuarán las personas en una situación determinada, como el pensamiento y la toma de decisiones (Schein, 1985).	SOPORTADO
El conocimiento (KM) tiene un impacto positivo en la inteligencia	Rothberg y Erickson (2004) aclaran que el conocimiento sin aplicación es inofensivo. En resumen, el conocimiento es la base de la inteligencia, ya que la inteligencia es el conocimiento en acción para resolver problemas.	SOPORTADO

Tabla I. Hipótesis en el modelo CCI

El modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI) demuestra cómo la cultura influye tanto en la producción de conocimiento como en la capacidad para generar inteligencia práctica. En el caso de las recientes inundaciones en Rio Grande do Sul, se evidenció que una cultura marcada por la inmediatez y la falta de planificación a largo plazo —incluyendo la ausencia de inversiones en obras preventivas que no rinden rédito electoral inmediato— impactó negativamente en la generación y aplicación del conocimiento, en especial el conocimiento tácito. Este tipo de conocimiento, basado en la experiencia práctica, es difícil de codificar y compartir, pues depende de la confianza, el compromiso y la identidad social de las comunidades técnicas.

La falta de mecanismos eficaces para transformar la experiencia acumulada por técnicos y académicos en acciones concretas, tanto antes como después de eventos críticos (como la inundación de salas de máquinas y el sobrepaso de presas), refleja cómo la inteligencia operativa también fue limitada por la cultura institucional predominante.

La aplicación práctica del modelo CCI, en particular en la gran inundación de mayo de 2024, puede hacerse por ejemplo a partir de las dificultades de comunicación detectadas entre la Universidad y el gobierno, entre el gobierno y la sociedad y entre la Universidad y la sociedad. La Relatoría Especial sobre Derechos Económicos, Sociales, Culturales y

Ambientales (REDESCA) de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) publica el informe “Impactos de las inundaciones en Rio Grande do Sul: observaciones y recomendaciones para la garantía de los derechos económicos, sociales, culturales y ambientales”. El informe destaca los impactos desproporcionados sobre los grupos en situación de mayor vulnerabilidad, entre ellos las niñas y mujeres, las personas afrodescendientes, los pueblos indígenas y comunidades tradicionales, las personas con discapacidad, las personas mayores, la población LGBTQIA+, los migrantes y refugiados, así como los trabajadores rurales e informales. Además, con base en la información recopilada durante la visita y el análisis de los datos disponibles, el informe identifica fallas estructurales que pueden haber contribuido a la magnitud de los impactos sobre DESCA, incluyendo la degradación ambiental, la expansión de la agroindustria, el debilitamiento de la legislación ambiental, la falta de mantenimiento de los sistemas de contención de inundaciones y el crecimiento urbano con baja resiliencia ambiental.

**5. Gestión del Conocimiento y Comunidades de Práctica (CoP).** - La Gestión del Conocimiento (GC) busca sistematizar, codificar y redistribuir el conocimiento tácito dentro de las organizaciones para convertirlo en conocimiento explícito (Rothberg y Erickson, 2004). Ante la naturaleza interdisciplinaria de los desafíos que implican las inundaciones, se requiere la creación de espacios públicos de calidad que promuevan la colaboración entre investigadores, tomadores de decisiones y comunidades. La conciencia social sobre el cambio climático y sus consecuencias debe ser fortalecida mediante participación ciudadana activa, lo cual garantiza que las soluciones sean culturalmente apropiadas y aceptadas por la sociedad.

Un elemento clave para esta integración del conocimiento es el uso de herramientas como el Índice de Vulnerabilidad Social de Cutter (Cutter, Boruff & Shirley, 2012), que permite anticipar impactos, evaluar necesidades y diseñar sistemas de alerta temprana más eficaces.

Como herramienta de aplicación práctica de la GC en este estudio, se proponen las Comunidades de Práctica (CoP) o Foros Comunitarios.

Morgado da Silva y Araújo (2019) [23] señalan que los Foros Comunitarios pueden contribuir significativamente a la construcción de ciudadanía, al proporcionar un espacio democrático donde se debaten y transforman los conflictos éticos y sociales. Las CoP se basan en la gestión del conocimiento socialmente distribuido, pero requieren mediación experta para evitar interpretaciones erróneas o sobrecarga informativa.

Oliveira y Villardi (2014), siguiendo a Gherardi (2003), destacan que las emociones, deseos e identidades personales afectan profundamente la forma en que se produce y comparte conocimiento. Las personas no solo buscan conocimiento por utilidad práctica, sino también como una meta en sí misma. No obstante, Moura (2009) señala que las CoP han sido poco estudiadas desde una perspectiva crítica.

Lave y Wenger (1991) y Wenger (2000) reconocen que las CoP no son neutras: pueden ser espacios de aprendizaje y creatividad, pero también de exclusión o rigidez institucional. Participar en ellas implica dialogar, compartir experiencias, construir significados y contribuir a procesos colectivos de reflexión, lo que fomenta el aprendizaje organizacional (Souza-Silva y Davel, 2007).

Una CoP efectiva debe tener tres elementos clave (Wenger, 2006):

1. Dominio: Un área de conocimiento común que da identidad al grupo, con miembros comprometidos que se valoran mutuamente por su experiencia y competencias.
2. Comunidad: Un entorno colaborativo donde se intercambian experiencias, se resuelven problemas y se construyen relaciones de aprendizaje.
3. Práctica: La base compartida de experiencias, herramientas, historias y métodos que sustentan la acción colectiva.

La participación progresiva, también conocida como Participación Periférica Legítima (Gherardi et al., 1998), permite a los nuevos miembros aprender mediante la interacción informal y adquirir legitimidad dentro del grupo.

**6. Propuesta: Crear una CoP sobre Prevención de Inundaciones.** - Se propone establecer una Comunidad de Práctica orientada a compartir mejores prácticas y lecciones aprendidas para la mitigación de inundaciones, con especialistas asignados por área temática. Estos expertos facilitarían el debate, analizarían propuestas y canalizarían recomendaciones concretas hacia la toma de decisiones. Uno de los efectos esperados de esta dinámica es la transformación cultural institucional.

Según De Angelis (2023), hay tres desafíos fundamentales para lograrlo:

1. Fomentar una cultura de intercambio de conocimientos dentro y fuera del sector público.
2. Utilizar herramientas digitales inteligentes que conviertan información en conocimiento contextualizado y sabiduría aplicada.
3. Reforzar la participación activa de ciudadanos, funcionarios y empresas en la producción de nuevo conocimiento, apoyados por sistemas expertos que analicen y faciliten el proceso colaborativo.

**7. Planes de Emergencia y Tecnología Aplicada.** - El cambio cultural propuesto a través de la gestión del conocimiento y el desarrollo de inteligencia organizacional es clave para diseñar planes de emergencia más eficaces. Según De Angelis (2024), estos deben combinar medidas estructurales (como obras hidráulicas) con estrategias no estructurales (como programas educativos y de transferencia de conocimiento).

Herramientas tecnológicas como el software HAZUS de FEMA (EE.UU.) permiten estimar daños potenciales por fallas de presas y realizar análisis costo-beneficio, facilitando así la planificación de infraestructura y rezonificación en áreas vulnerables (De Angelis y Gomes Júnior, 2024).

Araújo (2024) [1] advierte que, tras desastres, el 40% de las empresas no reabren, y otro 25% cierra en el plazo de un año, según datos de FEMA. Esto subraya la urgencia de acciones como el dragado de la cuenca del río Taquari, una necesidad debatida por más de cuatro décadas.

**8. Innovación Tecnológica y Energía Sostenible.** - En cuanto a sostenibilidad, Wendland et al. (2023) destacan el papel de materiales sintéticos avanzados para mejorar la eficiencia en la producción, almacenamiento y uso de energía. Tecnologías como celdas solares, baterías avanzadas y catalizadores eficientes pueden reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el cambio climático.

Respecto al transporte, especialmente el público —una fuente significativa de emisiones de CO<sub>2</sub>—, el hidrógeno verde representa una alternativa prometedora. Aunque su costo de producción aún supera al del hidrógeno derivado de fuentes fósiles, se espera que esta brecha disminuya pronto. El hidrógeno renovable se obtiene por electrólisis utilizando electricidad de fuentes sostenibles (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, mareomotriz), o bien mediante biogás o conversión bioquímica de biomasa, siempre que se cumplan criterios de sostenibilidad.

**9. El Modelo Biodinámico – Hidrodinámico.** - La agricultura biodinámica, que utiliza polvo de roca para reducir la fuerte necesidad de fertilizantes químicos, tiene el potencial de mejorar los indicadores climáticos y hídricos.

Como hemos visto, los fertilizantes químicos, además de contaminar el agua, aumentan el secuestro de carbono en el suelo, lo que ayuda a aumentar las temperaturas y por tanto las precipitaciones.

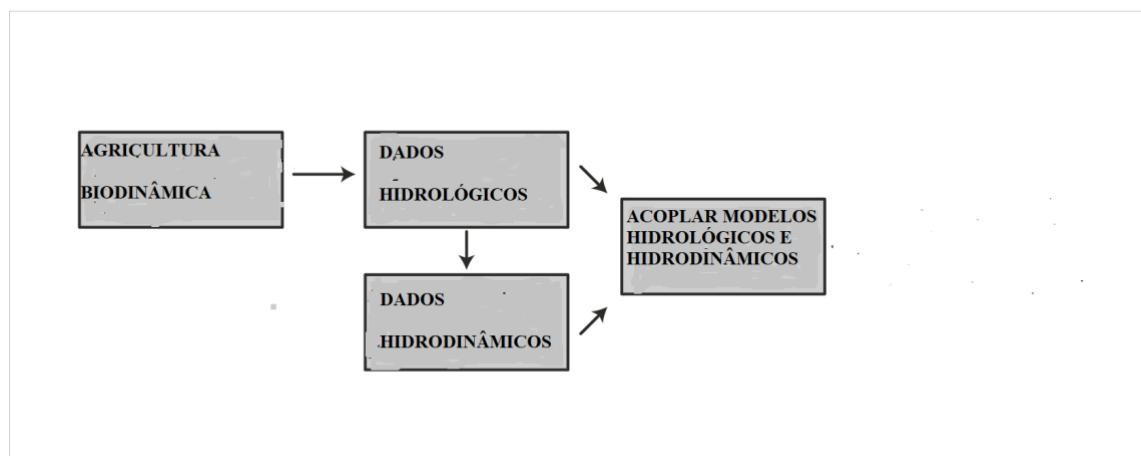
Los modelos hidrodinámicos se utilizan en casos de inundaciones e inundaciones para predecir la densidad del agua cerca del aliviadero y crear un plan de descarga de inundaciones ideal.

Como encontró Angelis (2014), un plan de emergencia depende de la variabilidad de las propiedades hidráulicas e hidrológicas, ya que los indicadores hidráulicos se ven impactados por el uso de la tierra y luego por el cambio climático.

Este trabajo sugiere las siguientes Comunidades de Práctica para compartir conocimientos y experiencias para mejorar el proceso de toma de decisiones:

- 1- Agricultura y Cambio Climático
- 2- Modelos hidrodinámicos y datos necesarios
- 3- Mejora de la previsión en casos de inundaciones
- 4- Planes de emergencia y relación con la población
- 5- Estructuras eléctricas de salas de máquinas.

Con base en esta revisión de la literatura, se construye el modelo de relación entre el modelo de Agricultura Biodinámica y el Modelo Hidrodinámico:



Es importante destacar en este modelo que la mejora en los datos agrícolas mejoró los datos hidrológicos e hidrodinámicos dada la relación con el cambio climático e incluso el respeto al medio ambiente.

**10. Resultados e Discusión.** - El principal resultado de esta revisión de la literatura fue considerar el modelo Hydropol2d como una solución de bajo costo para la predicción del comportamiento hidrocálico hidrológico de la cuenca de Río Grande do Sul, en particular estimando mapas de inundación que contienen profundidades de agua en las calles, bloques, vecindarios, canales y, en consecuencia, en todo el hilo.

Y no solo eso. Como hemos visto, el modelo Hydropol2D se puede utilizar para evaluar el riesgo de arrastre de las personas, generando mapas de riesgo cada 15 minutos que pueden usarse como una ayuda para la toma de decisiones.

Sin embargo, este trabajo llama la atención sobre la necesidad de datos de la lluvia y las estaciones fluviométricas y sugiere la mejor estructura de estas estaciones, así como a la construcción de nuevas por el poder público.

Es importante tener en cuenta que el tema del cambio cultural es aún más importante que el modelo Hydropol2D en sí. Esto se debe a que el uso de soluciones paliativas se observó tanto en la inundación 2023 y 2024 que hizo que el empeoramiento de la situación que dejó a 151 muertos, más de 100 faltantes y más de 600 desplazados.

Las alertas meteorológicas de que habría fuertes lluvias se emitieron con aproximadamente cinco días de anticipación.

No hubo mantenimiento en las estructuras existentes para proteger contra las inundaciones, incluidos diques, compuertas y bombas, hasta el punto de que el sistema colapsó antes de alcanzar el límite de inundación de 6 m. Como vimos, las bombas, que estaban inundadas, no pudieron bombejar agua fuera de la ciudad debido a su imposibilidad de funcionar con exceso de agua.

Obviamente también hubo una falta de trabajo en equipo multidisciplinario para gestionar mejor la urbanización y el sellado del suelo, particularmente en comunidades que viven cerca de zonas de inundación.

Sin un plan de Gestión del Conocimiento e Inteligencia Organizacional, faltó una buena comunicación por parte de las autoridades públicas para instruir a la población sobre cómo reducir riesgos y cómo actuar en situaciones de emergencia.

**11. Conclusión.** - El artículo presenta dos modelos de investigación que se retroalimentan: el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI) y el modelo de gestión de riesgos con participación social. El primer modelo demuestra la importancia de aprender de otras culturas, la inteligencia cultural, como incluyendo que el tema de las inundaciones es un problema global y por ende la necesidad de intercambiar conocimientos y experiencias con otros países, en particular Argentina.

Los efectos del cambio climático, asociado a la ocupación de zonas inundables, hacen que eventos como el de mayo de 2024 puedan ser cada vez más frecuentes. Sin embargo, la capacidad matemática actual de los modelos de previsión permite, con un intervalo razonable del orden de unos pocos días, predecir el impacto de las inundaciones con cierta precisión y servir de base para planes de actuación de emergencia. Para ello, es necesario recopilar datos de elevación, precipitaciones, batimetría y otros que sirvan como información de entrada para los modelos de pronóstico. Estados como Santa Catarina o Pernambuco cuentan con información de este tipo. Estas y otras medidas fueron sugeridas por investigadores del Instituto de Investigaciones Hidráulicas a finales de 2023 tras las inundaciones de noviembre, pero no fueron seguidas por los organismos públicos responsables.

Los investigadores también denuncian la cuestión gubernamental del mantenimiento de las obras (diques de contención y barreras anti-inundaciones). Los sistemas de protección, especialmente en Porto Alegre, requieren una intensa movilización de agentes capacitados para el correcto funcionamiento de compuertas y salas de máquinas. Preservar la memoria de las personas sobre los impactos sin precedentes de la inundación de 2024 no solo debe servir como una advertencia para la población, sino también presentarse en acciones adecuadas y frecuentes para la operación y mantenimiento de los sistemas de protección.

Paiva et al. (2024) recomiendan que los proyectos y la planificación de infraestructuras sean adaptables y flexibles, y que faciliten o no inviabilicen su ampliación (e.g. ancho de puentes, tramos de alcantarillas, altura de coronación de presas y diques), permitiendo así considerar futuras incrementos en los valores de referencia, dado un cierto riesgo asociado a eventos hidrológicos extremos.

La formación de equipos responsables de gestionar los sistemas de protección con frecuencia y no sólo durante las inundaciones debe ser una prioridad. Este trabajo pretende buscar pautas para una solución sin necesariamente encontrar culpables. La población afectada es la que más sufre al tener que desplazarse desde zonas previamente estables, y esto trae consigo la importancia de la inteligencia y sus tres pilares 1. predicción (responsabilidad del modelo hidrodinámico), 2. estrategia y acción (responsabilidad del plan de emergencia con participación social).

Como se analiza en este trabajo, es necesaria una mejor relación entre la Universidad y el gobierno con la participación de la población para que quienes tienen conocimiento y experiencia puedan tener mejores datos hidrológicos, no solo de precipitaciones, sino también de niveles de agua en toda la infraestructura de las ciudades. sistema para alimentar sus modelos de predicción, estrategia y acción. Además, se necesita un plan de emergencia estándar para todo el Estado que pueda replicarse en todo Brasil, considerando la educación de la población, particularmente de las poblaciones ribereñas y ribereñas.

**12. Sugerencia para futuros estudios.** - Según Gomes Junior et al. (2023), los estudios futuros incorporarán la variabilidad espacial de la precipitación y la evapotranspiración en cuencas hidrográficas a gran escala, especialmente para la modelización en períodos de sequías persistentes con inundaciones sin precedentes. Las investigaciones futuras deberían integrar datos socioeconómicos con análisis geoespaciales para comprender mejor los impactos en cascada de las inundaciones en las poblaciones vulnerables y fundamentar estrategias equitativas de desarrollo de la resiliencia.

## Referencias

- [1] Araújo, L. Emergência climática traz necessidade de mudança em parâmetros de risco de desastres. Jornal do Comércio. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/cadernos/empresas-e-negocios/2024/05/1155968-emergencia-climatica-traz-necessidade-de-mudanca-em-parametros-de-risco-de-desastres.html>
- [2] Arsenault, R., Breton-Dufour, M., Poulin, A., Dallaire, G., & Romero-Lopez, R. Streamflow prediction in ungauged basins: analysis of regionalization methods in a hydrologically heterogeneous region of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*. 2019. 64(11), 1297–1311.
- [3] Bao, Zhenxin, et al. "Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions." *Journal of Hydrology* 466 (2012): 37-46.
- [4] Brunner, G. W. HEC-RAS river analysis system, 2D modeling users' manual. U.S. Army Corps of Engineer, Institute for Water Resource, Hydrologic Engineering Center. 2016.
- [5] Choo, C.W. *The Knowing Organisation*, Oxford University Press, New York, NY. 1998.
- [6] Davenport, T.H. and Prusak, L. *Working Knowledge*, 2<sup>nd</sup> ed., Harvard Business School Press, Boston, MA. 2000.
- [7] Cutter, S., B. Boruff y L. Shirley. "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly*, 2003. vol. 84, N° 2
- [8] De Angelis, C. T. Um modelo e Plano de Emergência Padronizado para as inundações. Jornal do Comércio. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1165074-um-modelo-e-plano-de-emergencia-padronizado-para-as-inundacoes.html>
- [9] De Angelis, C. T. Um plano de educação ambiental baseado na educação infantil, participação social: um estudo de caso na Aldeia Terere em Sidrolândia. *Revista Ambientale. Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL*. 2023. Disponível em <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/535>
- [10] De Angelis, C. T. Gomes Júnior, M. N. Uma sugestão de modelo hidrodinâmico para prever e gerir inundações . Jornal do Comércio. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1160994-uma-sugestao-de-modelo-hidrodinamico-para-prever-e-gerir-inundacoes.html>
- [11] Do Lago, Cesar & Brasil, José & Nóbrega, Marcus & Mendiondo, Eduardo & Giacomoni, Marcio.. Improving pluvial flood mapping resolution of large coarse models with deep learning. *Hydrological Sciences Journal*, 2024. 69(5), 607–621. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2329268>
- [12] Fassoni-Andrade, A. C. Paiva, R. C. Rudorff, C. M. Barbosa, C.C. Leão, E. M. High-resolution mapping of floodplain topography from space: A case study in the Amazon, *Remote Sensing of Environment*, Volume 251, 2020.
- [13] Fassoni-Andrade, A. C. Durand, F. Azevedo, A. Bertin, X. Santos, L.G. Khan, J. U. Testut, Moreira, D. M. Seasonal to interannual variability of the tide in the Amazon estuary, *Continental Shelf Research*, Volume 255, 2023.
- [14] Getirana, A., Boone, A., Yamazaki, D., Decharme, B., Papa, F., & Mognard, N. The hydrological modeling and analysis platform (HyMAP): Evaluation in the Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology*, 2012. 13, 1641–1665

- [15] Gomes Júnior, M. N. Giacomoni, M. H. Richmond, F. A. Mendiondo, E. M. Global optimization-based calibration algorithm for a 2D distributed hydrologic-hydrodynamic and water quality model, Environmental Modelling & Software, Volume 179, 2024.
- [16] Gomes Júnior, M. N. Lago, C. A. Rápalo, L. M. Oliveira, P. T. Giacomoni, M. H. Mendiondo, E. M. HydroPol2D — Distributed hydrodynamic and water quality model: Challenges and opportunities in poorly-gauged catchments, Journal of Hydrology, Volume 625, Part A, 2023,
- [17] Guidolin, M., Chen, A. S., Ghimire, B., Keedwell, E. C., Djordjevic, S., & Savic, D. A. “A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis”. Environmental Modelling & Software, 2016. 84, 378-394.
- [18] Hu, D. Chen, Z. Li, Z. Zhu, Y. An implicit 1D-2D deeply coupled hydrodynamic model for shallow water flows, Journal of Hydrology, Volume 631, 2024,
- [19] Jillo, A. Y., Demissie, S. S., Viglione, A., Asfaw, D. H., & Sivapalan, M. Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. Hydrological Sciences Journal, (2017). 62(8), 1200–1215.
- [20] Kroeber, A. L. The Concept of Culture in Science. The Journal of General Education. Vol. 3, No. 3 , pp. 182-196 (15 pages). Published By: Penn State University Press. 1949.
- [21] Li, G. Zhu, H. Jian, H. Zha, W. JWang, J. Shu, Z. Yao, S. Han, H. A combined hydrodynamic model and deep learning method to predict water level in ungauged rivers, Journal of Hydrology, Volume 625, Part A, 2023.
- [22] Long, Y. Chen, W. Jiang, C. Huang, Z. Yan, S. Wen, X. Improving streamflow simulation in Dongting Lake Basin by coupling hydrological and hydrodynamic models and considering water yields in data-scarce areas, Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 47, 2023.
- [23] Morgado da Silva, M., Araújo, U. APRENDIZAGEM-SERVIÇO E FÓRUNS COMUNITÁRIOS: ARTICULAÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO DA CIDADANIA NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL. Revista de Educação Ambiental. Vol. 24, n. 1. 2019. Disponível em <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/8157>
- [24] Nonnemacher, Lara & Fan, Fernando. Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. Revista de Gestão de Água da América Latina. 2023. 20. 8. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e8>.
- [25] Paiva, R. Collischonn, W. Miranda, P. Petry, I. Dornelles, F. Goldenfum, J. Fan, F. Ruhoff, A. e Fagundes, H. Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil. Relatório IPH-UFRGS. 2024. Disponível em <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf>
- [26] Rennó, C.D.; Soares, J. V. Modelos hidrológicos para gestão ambiental. Cursos INPE. 2022. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf)>.
- [27] Rosman, P. C.C. Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental – Capítulo 1 (pp 1-161) do livro Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, Vol. 5. Editora ABRH e Fundação COPPETEC. 2001.
- [28] Rothberg, H. N. Erickson, G. S.. “From Knowledge to Intelligence: Creating Competitive Advantage in the Next Economy.”. 2004.
- [29] Schein, Edgar H. Organizational Culture and Leadership. San Francisco: Jossey-Bass Publishers. 1985.

[30] Stokes Oceanografia. Estudos sobre modelos hidrodinâmicos. 2023. Disponível em <http://stokesoceanografia.com.br/2020/08/07/modelos-hidrodinamicos1/>

[31] Yang, Linhan, et al. "Effects of the Three Gorges Dam on the downstream streamflow based on a large-scale hydrological and hydrodynamics coupled model." Journal of Hydrology: Regional Studies 40 (2022): 101039.

**Nota contribución de los autores:**

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

CT ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

**Nota de aceptación:** Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Gobertti.