



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



2026

GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE **MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DEL** CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS

Elaboró:

Mariana Carreño Bernal
Contratista

Revisó:

Yuli Carolina Velandia Roncancio
Líder Técnica grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

Aprobó:

Oscar Alexander Varila Quiroga
Coordinador grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

Jorge Alberto Sanabria Morales

Subdirector Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales



<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

1. Introducción

Esta guía establece buenas prácticas para la configuración, ejecución y presentación de modelos hidrológicos e hidrodinámicos aplicados a cuerpos de agua lóticos y lénticos en Proyectos, Obras y/o Actividades-POA, sujetos a licenciamiento ambiental. Su propósito es ofrecer directrices claras y verificables para la modelación del recurso hídrico superficial, de manera que los resultados representen de forma dinámica el sistema y sean consistentes con los términos de referencia y con las metodologías de los estudios ambientales que se presentan ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Estas directrices recogen la experiencia técnica de la ANLA, en particular del Centro de Monitoreo, y se consolidan en la presente Guía de Buenas Prácticas de Modelación, con el fin de sustentar la adecuada gestión del recurso, la identificación y cuantificación de impactos en condiciones actuales y prospectivas, y la definición de medidas de manejo y mitigación.

2. Objetivo

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer buenas prácticas para la modelación hidrológica e hidrodinámica del recurso hídrico superficial, mediante lineamientos técnicos, criterios mínimos de información y procedimientos estandarizados, con el fin de garantizar resultados trazables, comparables y útiles para la evaluación ambiental de la ANLA y su adopción por actores externos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Unificar criterios y requisitos de datos para la modelación hidrológica e hidrodinámica, incluyendo reglas de calidad, representatividad y control, así como la adecuada espacialización y temporalidad, a fin de asegurar insumos comparables y trazables.
2. Estandarizar el ciclo de modelación hidrológica e hidrodinámica considerando las guías colombianas vigentes y enfocando su aplicación al licenciamiento ambiental, con el propósito de fortalecer el rigor técnico y la reproducibilidad.
3. Definir los mínimos de los entregables necesarios para la toma de decisiones, precisando estructura y formatos, metadatos, contenidos técnicos y trazabilidad de resultados, de manera que se facilite la revisión, el uso y la integración de los productos por parte de la ANLA.

3. Alcance

Esta guía establece buenas prácticas para la modelación hidrológica e hidráulica del componente hídrico superficial, aplicada a procesos de licenciamiento ambiental ante la ANLA por parte de actores externos. No aborda lineamientos de calidad del agua, ni cubre aguas subterráneas u otros componentes distintos al hídrico superficial.

La guía complementa la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico Superficial (MADS, 2018), acogida mediante la resolución 959 del 2018, y establece lineamientos y consideraciones mínimas para que el licenciario configure modelos hidrológicos e hidrodinámicos según las necesidades de cada POA en el marco del licenciamiento ambiental. Su foco es la cantidad de aguas superficiales y la modelación matemática resuelta numéricamente mediante discretización espacial y temporal; orienta además la forma de organizar y entregar la información de modelación a la ANLA para evaluación y seguimiento.

El alcance establece los requisitos de información base para la modelación hidrológica (registros hidrometeorológicos, coberturas de la tierra, tipo de suelos, MDT; fuentes primarias y, cuando aplique, información satelital) y para la modelación hidrodinámica (topobatimetría representativa, caudales, niveles y velocidades; coberturas; y permisos de concesión, vertimientos y ocupaciones)

Asimismo, cubre la configuración y desarrollo de modelos hidrológicos e hidrodinámicos (elección de ecuaciones y dimensionalidad acordes al POA, condiciones de contorno e iniciales, calentamiento, tipos de malla, prueba de interdependencia de malla, estabilidad numérica, calibración).

Finalmente, define contenidos mínimos de entrega y organización de la información, incluyendo pruebas de bondad de ajuste, prueba de interdependencia de malla, archivos crudos de los modelos con todos los escenarios, resultados con y sin proyecto y el esquema conceptual; precisa la ubicación en anexos del capítulo de uso y aprovechamiento, y orienta el uso del MAG conforme a la Resolución 2182 de 2016.

4. Definiciones

Acople 1D/2D: Intercambio de flujo entre un canal modelado en 1D y una planicie de inundación modelada en 2D mediante aperturas o enlaces definidos hidráulicamente.

ADCP: Perfilador acústico de corrientes por efecto Doppler.

Aforo: Medición de caudal en campo (m³/s) mediante molinete, ADCP o a partir de una curva nivel-caudal.

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Baseflow (flujo base): Componente retardado del caudal en el río asociado al aporte subterráneo, usualmente representado con uno o

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFIJAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

varios reservorios.

Batimetría/topobatimetría: Levantamiento de cotas del fondo del cauce y su integración con la topografía en seco para construir el terreno hidráulico.

Cauces lóticos y cuerpos lénticos: Ríos o canales con flujo predominante y lagos o embalses con circulación más tranquila.

CFL: Courant-Friedrichs-Lewy.

Condición de contorno tipo Dirichlet: Variable impuesta por el usuario

Condición de contorno tipo Neumann: Flujo o gradiente evaluado por el modelo en la frontera.

CORDEX: Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment.

Curva de gasto: Relación nivel-caudal en una sección de control; puede presentar histéresis durante crecientes.

Curvas de recesión: Tramos decrecientes del hidrograma que permiten inferir constantes de vaciamiento del flujo base.

DEM/MDE: Digital Elevation Model / Modelo Digital de Elevación.

DHIME: Sistema de Información Hidrometeorológica del IDEAM.

Equifinalidad: Diferentes combinaciones de parámetros producen desempeños similares.

Escorrentía: Flujo superficial generado por exceso de precipitación respecto a la infiltración y a la capacidad de almacenamiento temporal.

ETP/ETR: Evapotranspiración potencial (demanda teórica) y evapotranspiración real (consumo efectivo de agua por suelo y vegetación).

ETP/ETR: Evapotranspiración potencial / evapotranspiración real.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FGV: Flujo gradualmente variado.

FGV (flujo gradualmente variado): Formulación estacionaria 1D para perfiles de línea de agua con cambios suaves.

GPM IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM.

HBV: Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning.

HEC-HMS: Hydrologic Modeling System del USACE.

HEC-RAS 1D/2D: River Analysis System del USACE en 1D/2D.

Hidrograma e hidrograma unitario: Serie temporal de caudal y respuesta a una lluvia unitaria durante un tiempo base.

HRU: Hydrologic Response Unit.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IoU: Intersección sobre unión (solape de manchas).

KGE: Kling-Gupta Efficiency.


MAE/RMSE: Error absoluto medio / raíz del error cuadrático medio.

Malla o mallado: Discretización espacial del dominio en celdas/elementos; su calidad se evalúa con relación de aspecto, ortogonalidad, ángulos internos, suavidad del tamaño y densidad.

Memoria del sistema: Tiempo requerido para que la influencia de condiciones iniciales y almacenamientos se disipe en las salidas.

Modelo conceptual: Esquema verificable del sistema que define dominio, entradas/salidas, procesos, variables y supuestos; guía la selección y configuración numérica.

Modelo digital de elevación (MDE/DEM): Representación raster del terreno; incluye variantes como MDT/MDS.

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFIJAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

NAM: Modelo hidrológico del Instituto Danés de Hidrología (suite MIKE).

NSE: Eficiencia de Nash-Sutcliffe.

Número de Froude/Reynolds: Parámetros adimensionales que caracterizan régimen subcrítico/supercrítico y laminar/turbulento.

Número de Courant (CFL): Razón adimensional que controla la estabilidad temporal en esquemas explícitos.

Parsimonia: Complejidad mínima suficiente para representar procesos dominantes con los datos disponibles.

PBIAS.: Sesgo porcentual

Periodo de retorno: Inversa de la probabilidad anual de excedencia de un evento.

Plan de operación: Reglas/calendario de maniobras para vertederos, compuertas, derivaciones y caudal ambiental.

POMCA: Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas.

PORH: Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

Q/H: Caudal / nivel (variable de frontera).

Qmín/Qmed/Qmáx: Caudal mínimo / medio / máximo.

Reducción de escala/corrección de sesgo: Métodos para adaptar productos satelitales/reanálisis a escalas y estadísticas locales

Rugosidad de Manning: Parámetro de resistencia hidráulica en cauce/planicies.

SWAT: Soil and Water Assessment Tool.

Unidades de respuesta hidrológica (HRUs): Unidades homogéneas en uso del suelo/tipo de suelo/pendiente en modelos semidistribuidos.

USACE: U.S. Army Corps of Engineers.

5. Normativa

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe	Artículos
Decreto-Ley	2811	18-12-1974	"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente."	Dominio y uso de aguas, cauces y riberas; concesiones; vertimientos (p.ej., arts. 98, 104-106, 160, 211-231).
Decreto	1541	26-07-1978	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974... en cuanto a Aguas no marítimas."	Concesiones de aguas; ocupación de cauces; control de vertimientos (p.ej., arts. 44-66, 87-97, 104-106, 211-231.)
Constitución	91	04-07-1991	Derecho a un ambiente sano; deber estatal de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.	Artículos 8, 79, 80.)
Ley	99	22-12-1993	"Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente... se organiza el SINA..."	Artículos 49-50 (licencia ambiental y definición).
Decreto	3930	25-10-2010	"Por el cual se reglamenta... el Decreto-Ley 2811/74... en cuanto a usos del agua, ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos."	Disposiciones generales, ordenamiento del RH y vertimientos (p.ej., Art. 1, 8; clasificación y objetivos de calidad).

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe	Artículos
Decreto-Ley	3573	27-09-2011	“Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA- y se dictan otras disposiciones.”	Art. 2-3 (objeto y funciones de la ANLA).
Decreto	2041	15-10-2014	“Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.”	Art. 2 (autoridades competentes); régimen y trámite de licencias y EIA.
Decreto	1076	26-05-2015	Compila la reglamentación del sector ambiente (incluye recurso hídrico y licencias).	Libro 2, Parte 2, Título 3 (Recurso hídrico). En especial 2.2.3.3.5.3 (Evaluación ambiental del vertimiento: exige modelación), modificado por D. 50/2018.
Resolución	2182	23-12-2016	“Por la cual se modifica y consolida el Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG) para EIA, DAA, PMAE e ICA.”	Art. 1 (objeto y ámbito: adopta/obliga el MAG); Art. 2-3 (publicidad y transición).
Resolución	1519	26-07-2017	“Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del EIA requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica.”	Art. 1 (adopción de TdR-014 hidroeléctricas); Art. 6 (vigencia y derogatorias). (Documento TdR con capítulos de hidrología e hidráulica).
Decreto	50	16-01-2018	“Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015... en relación con Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos.”	Modifica 2.2.3.3.5.3 del DUR 1076: exige “modelos de simulación” y remite a la Guía Nacional de Modelación.
Resolución	959	31-05-2018	“Por la cual se adopta la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para aguas superficiales.”	Art. 1 (adopción de la Guía); vigencia y derogatorias.

6. Documentos Asociados

Nombre
IDEAM. Manual/Lineamientos para el manejo de series hidrometeorológicas y uso del Sistema DHIME (documentación y ayudas oficiales). Bogotá, Colombia. Versión vigente.
IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2022 (ENA 2022). Bogotá, Colombia, 2022. —Cita en texto: (IDEAM, 2022).
IGAC. Especificaciones técnicas y metadatos para cartografía básica y modelos digitales de elevación. Bogotá, Colombia. Versión vigente.
IDEAM. Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica del recurso hídrico superficial. Bogotá, Colombia, versión vigente.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico (Anexo 15 del componente de cantidad). Bogotá, Colombia. Versión vigente.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - ANLA. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA). Bogotá, Colombia. Versión vigente.

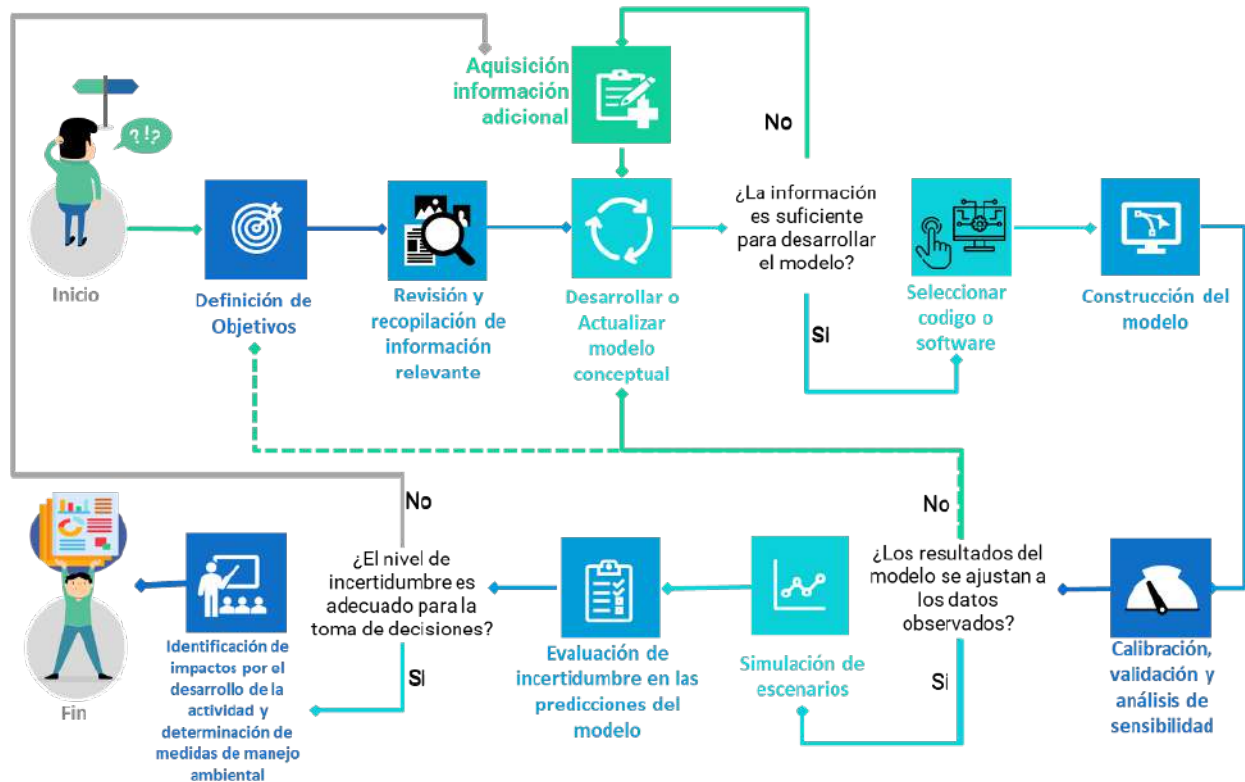
7. Desarrollo

La presente guía de buenas prácticas consolida los criterios prácticos para planear, implementar y documentar ejercicios de modelación

hidrológica e hidrodinámica en el marco del licenciamiento ambiental. El capítulo traduce el “qué” y el “por qué” definidos en los numerales previos en un “cómo” operativo: pasos, decisiones mínimas y evidencias que deben quedar trazables y replicables. El enfoque se basa en cuatro principios: coherencia con el objetivo del estudio y el modelo conceptual (7.3); parsimonia en la selección del nivel de detalle (7.4); control de calidad de insumos y transparencia metodológica (7.2); y verificación independiente mediante calibración, validación y análisis de sensibilidad/incertidumbre (capítulos posteriores).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume el flujo general del proceso: desde la formulación de objetivos, la recopilación de información y la construcción/actualización del modelo conceptual, hasta la selección de código o software, la implementación, la simulación de escenarios y la evaluación de incertidumbre para sustentar la identificación de impactos y las medidas de manejo.

Figura 7-1. Proceso de modelación general

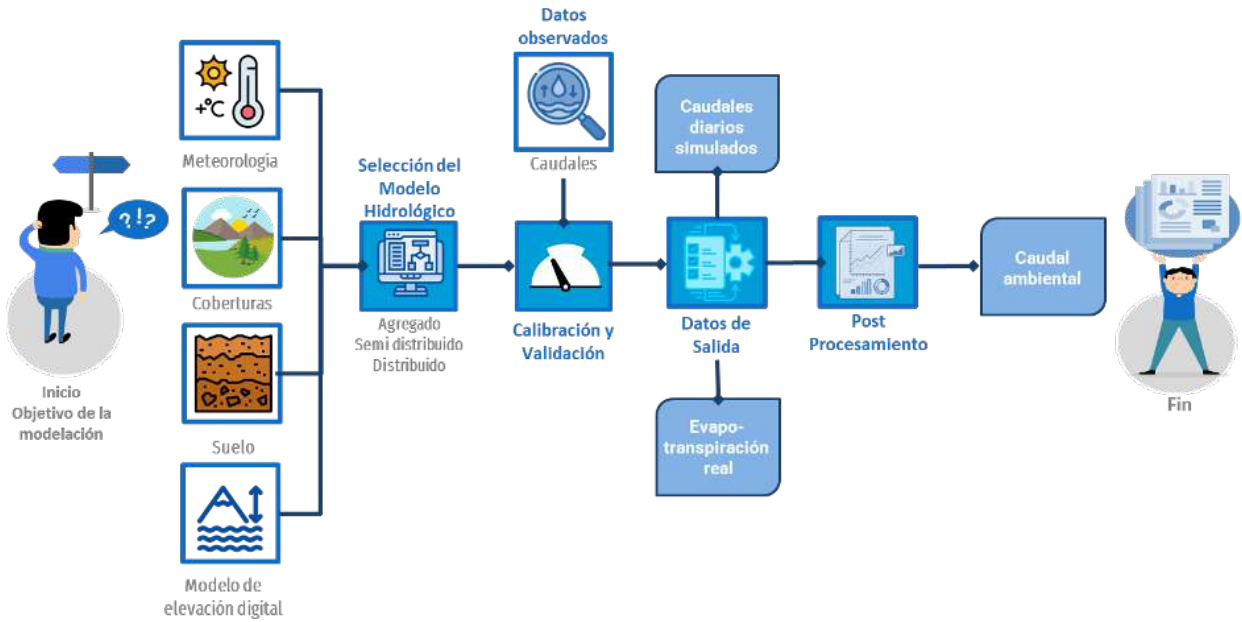


Fuente: ANLA, 2023.

La modelación hidrológica consiste en representar, de forma matemática, los procesos lluvia-escorrentía y el tránsito de caudales en una cuenca para estimar cómo cambia la respuesta hidrológica del sistema ante distintas condiciones. En el marco del licenciamiento ambiental, se utiliza cuando los POA pueden modificar la generación y el transporte de escorrentía o los aportes de caudal durante las diferentes fases del proyecto. Sus resultados permiten sustentar la evaluación de impactos, comparar línea base vs. escenarios con y sin proyecto (alternativas y fases) y alimentar la modelación hidrodinámica cuando corresponda. Las variables que el modelo simula o estima incluyen caudales en puntos de control, hidrogramas, escorrentía superficial y sub-superficial, almacenamientos, balances hídricos y, cuando aplique, indicadores para caudales extremos y caudal ambiental; su resolución temporal y el nivel espacial (agregado, semidistribuido o distribuido) se eligen según el objetivo del estudio y la disponibilidad y calidad de datos. La Figura 7-2 presenta el proceso de modelación hidrológica.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

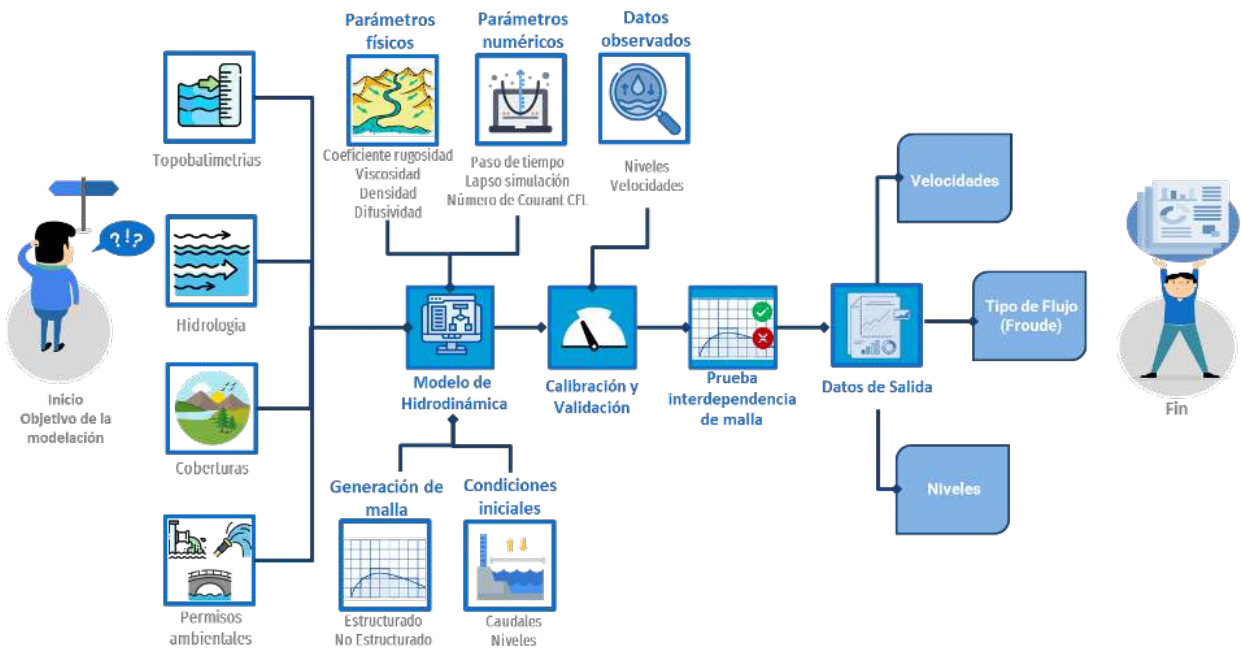
Figura 7-2 Proceso de modelación hidrológica



Fuente: ANLA, 2023

Por otra parte, la modelación hidrodinámica representa, mediante las ecuaciones de gobierno pertinentes (Saint-Venant 1D/2D en régimen permanente o no permanente, formulaciones difusivas o dinámicas y, cuando corresponde, aproximaciones 3D), la evolución de niveles, profundidades y velocidades en cuerpos lóticos y cuerpos lénticos. En el licenciamiento ambiental se emplea cuando los POA pueden alterar la línea de agua, las velocidades o la extensión y profundidad de la inundación, así como los tirantes en zonas de interés (cruces, obras longitudinales, diques, ocupaciones de cauce, embalses o derivaciones). Los productos típicos comprenden mapas de profundidad y velocidad, perfiles y curvas gasto-nivel, y, cuando aplica, número de Froude y campos de viento en cuerpos lénticos. La Figura 7-3 presenta el proceso de modelación hidrodinámica.


Figura 7-3 Proceso de modelación hidrodinámica



Fuente: ANLA, 2023

7.1 OBJETIVO DE LA MODELACIÓN

El objetivo de la modelación hidrológica e hidrodinámica en el licenciamiento ambiental es estimar y predecir, de manera cuantitativa, los cambios en caudales, niveles y velocidades del flujo, así como en la extensión y profundidad de la inundación, que pueden generar los POA. Estos cambios se caracterizarán en términos de magnitud, frecuencia, duración, extensión espacial y probabilidad, con el fin de sustentar la evaluación ambiental por parte de la ANLA, la definición de medidas y condicionamientos y el seguimiento del proyecto.

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Para ello, la modelación deberá considerar escenarios de línea base (condiciones actuales) y escenarios prospectivos (con y sin proyecto, alternativas y fases); incluir eventos extremos (máximos y mínimos), variabilidad y cambio climático cuando corresponda; y documentar los supuestos, la calibración y validación, el análisis de incertidumbre y la trazabilidad de los resultados.

7.2 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

La investigación preliminar consolida y verifica la información necesaria para definir, con rigor, el alcance, las escalas espacial y temporal y la estrategia de modelación en aguas superficiales, combinando revisión de información secundaria y reconocimiento de campo. Esta etapa dimensiona el estudio según el objetivo de la modelación y el tamaño del dominio (hidrológico e hidrodinámico); organiza y analiza insumos de planificación y gestión (oferta y demanda, inventario de obras, SIRH, censos de usuarios, POMCA y PORH), con un horizonte mínimo de cuatro años de información relevante. El reconocimiento de campo permite identificar y georreferenciar sitios de monitoreo; captaciones, tributarios y vertimientos significativos, así como levantar rasgos morfológicos e hidráulicos preliminares que ayudan a perfilar procesos y variables a representar en el modelo; además, se inventarían usuarios (concesiones y permisos) y usos del recurso para apoyar el diseño de la red de monitoreo y las condiciones de frontera e iniciales.

En paralelo, se consolidan los insumos espaciales: topografía, topo-batimetría, geometría de cauces y planicies, y se compilan series hidrometeorológicas (caudales, niveles, velocidades) de redes primarias o secundarias, según lo requiera la modelación hidrodinámica.

Con estos insumos y el conocimiento de campo se elabora el modelo conceptual (esquemmatización del sistema, entradas/salidas y variables dominantes) que guiará la selección del tipo de modelo y su configuración posterior. Los subnumerales siguientes desarrollan los insumos mínimos para la modelación hidrológica e hidrodinámica, así como los criterios de preparación de datos y trazabilidad necesarios para el licenciamiento (protocolo y documentación de calidad).

7.2.1 Requisitos de información para la modelación hidrológica

La calidad de la modelación depende de la calidad, cobertura y trazabilidad de los datos de entrada. Por ello, previo a cualquier simulación el usuario debe consolidar registros hidrometeorológicos provenientes de monitoreos (y su documentación) acordes con el objetivo del estudio y la escala del dominio.

Para la modelación se debe contar, como mínimo, con series diarias de precipitación y temperatura máxima y mínima. Idealmente, estas se complementan con radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, cuando estén disponibles. La longitud recomendada es de 35 años de información continua y representativa del clima local; en su defecto, mínimo 10 años continuos. Cuando no se alcance esa longitud, deberán justificarse las decisiones, complementando con regionalización o información satelital y dejando explícita la incertidumbre asociada.

La procedencia de los datos debe seguir la siguiente jerarquía:

- Fuentes primarias del propio proyecto: monitoreos realizados por la red de estaciones del POA y campañas de campo realizadas para el estudio ambiental, que suelen ser la base más confiable y reciente.
- Fuentes secundarias: la red nacional IDEAM-DHIME, información de Corporaciones Autónomas Regionales, entidades de gestión del riesgo e instrumentos de planificación como POMCA y PORH.
- Cuando la distribución espacial de estaciones resulte insuficiente, o si se requieren escenarios de variabilidad/cambio climático, se podrán usar productos satelitales y de reanálisis (por ejemplo, CHIRPS para precipitación, ERA5 para variables atmosféricas y CORDEX para escenarios regionalizados).

En estos casos es indispensable explicar de forma breve el producto empleado, su resolución, período, sesgos típicos y cualquier ajuste de sesgo o downscaling aplicado para que la autoridad pueda interpretar adecuadamente los resultados.

La tabla presenta los enlaces en los que se puede encontrar en la actualidad (septiembre de 2025) la información hidroclimatológica de referencia


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tabla 7-1 Fuentes de información hidroclimatológica

FUENTE	VARIABLES DISPONIBLES	ESCALAS DISPONIBLES	ENLACE OFICIAL	LIMITACIONES TÍPICAS	PROCESOS DE BUENAS PRÁCTICAS
IDEAM – DHIME (observaciones in situ)	Precipitación, temperatura, humedad, viento; caudal, nivel	Espacial: estaciones puntuales Temporal: diaria/horaria (según estación)	https://dhime.ideam.gov.co/	Cobertura y continuidad variables por estación; posibles rupturas operativas/instrumentales; metadatos incompletos en algunos casos	Revisión de metadatos y ubicación; evaluación de completitud; pruebas de homogeneidad y doble masa; tratamiento de faltantes; verificación de coherencia espacial; trazabilidad de versiones y fecha de descarga
CHIRPS (precipitación)	Precipitación acumulada	Espacial: 0.05° (~5 km) sobre tierra Temporal: diaria / mensual	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	Sesgos en zonas montañosas y en convección intensa; cambios de versión; no representa microescala local sin ajuste	Validación local con estaciones; corrección de sesgo (p. ej., cuantifica); reproyección/recorte al dominio; control de unidades; documentar versión y fecha de descarga
GPM IMERG (precipitación)	Precipitación (tasa y acumulados)	Espacial: 0.10° (~10 km) Temporal: 30 min/diaria/mensual (corridos Early /Late/ Final)	https://gpm.nasa.gov/data/imerg	Sesgos en orografía compleja y lloviznas; diferencias entre corridas; actualizaciones de versión	Elegir corrida coherente (recomendada Final para estudios); validación local; corrección de sesgo si aplica; agregación temporal consistente; documentar versión/corrida y fecha de descarga
ERAS (reanálisis, Copernicus/EC MWF)	Temperatura, humedad relativa, viento, radiación, presión, precipitación reanalizada, entre otras	Espacial: ~31 km (nativa) Temporal: horaria (derivables diaria / mensual)	https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels	No son observaciones; posible suavizado de extremos; sesgos regionales; requiere registro en Climate Data Store de Copernicus (Programa de la Unión Europea); cambios de versión	Descarga reproducible (scripts); selección de variables; validación local frente a estaciones; corrección de sesgo si se usan como forzantes; remuestreo y alineación espaciotemporal; documentar versión y fecha de descarga
MERRA-2 (reanálisis, NASA GMAO)	Variables atmosféricas y terrestres (p. ej., radiación, temperatura, viento, humedad)	Espacial: ~0.5° x 0.625° (según producto) Temporal: horaria / diaria / mensual	https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/merra-2/data_access/	Calidad dependiente de la asimilación y de la densidad observacional; posibles discontinuidades entre productos	Validación local; control de unidades/conveniones; corrección de sesgo si aplica; documentar producto/colección y Earthdata Login; scripts reproducibles

Fuente: ANLA, 2024

La evapotranspiración potencial (ETP) deberá calcularse preferentemente con Penman-Monteith FAO-56; si solo se cuenta con datos de temperatura (y estimaciones de radiación), puede usarse Hargreaves-Samani, y Thornthwaite quedará como alternativa de última instancia, siempre justificando sus implicaciones en la incertidumbre.


Además de las series climáticas, la modelación requiere insumos cartográficos como:

- Coberturas y tipos de suelos (línea base del EIA, IGAC, IDEAM; FAO como apoyo)
- Red de drenajes (línea base del EIA, IGAC, POMCA, PORH)
- Modelo Digital de Elevación (DEM) del cual se derivan pendientes y, cuando sea necesario, la red de drenajes.
- Unidades hidrográficas (IDEAM, PORH, POMCA)
- Áreas aferentes a los puntos de interés: Con base en la red de drenajes se delimitan las unidades hidrográficas (cuencas y subcuencas) y se definen los puntos de control (aforos, estaciones, captaciones y retornos) que estructuran el modelo. Varios programas de simulación requieren explícitamente estas unidades como insumo, por lo que es indispensable garantizar la consistencia espacial (proyección, resolución, alineación) con el dominio de estudio y con los instrumentos de planificación vigentes.

Antes de iniciar cualquier modelación, la información debe someterse, como mínimo, al siguiente esquema de preparación y control de calidad, en concordancia con la Metodología General para la elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA) vigente:

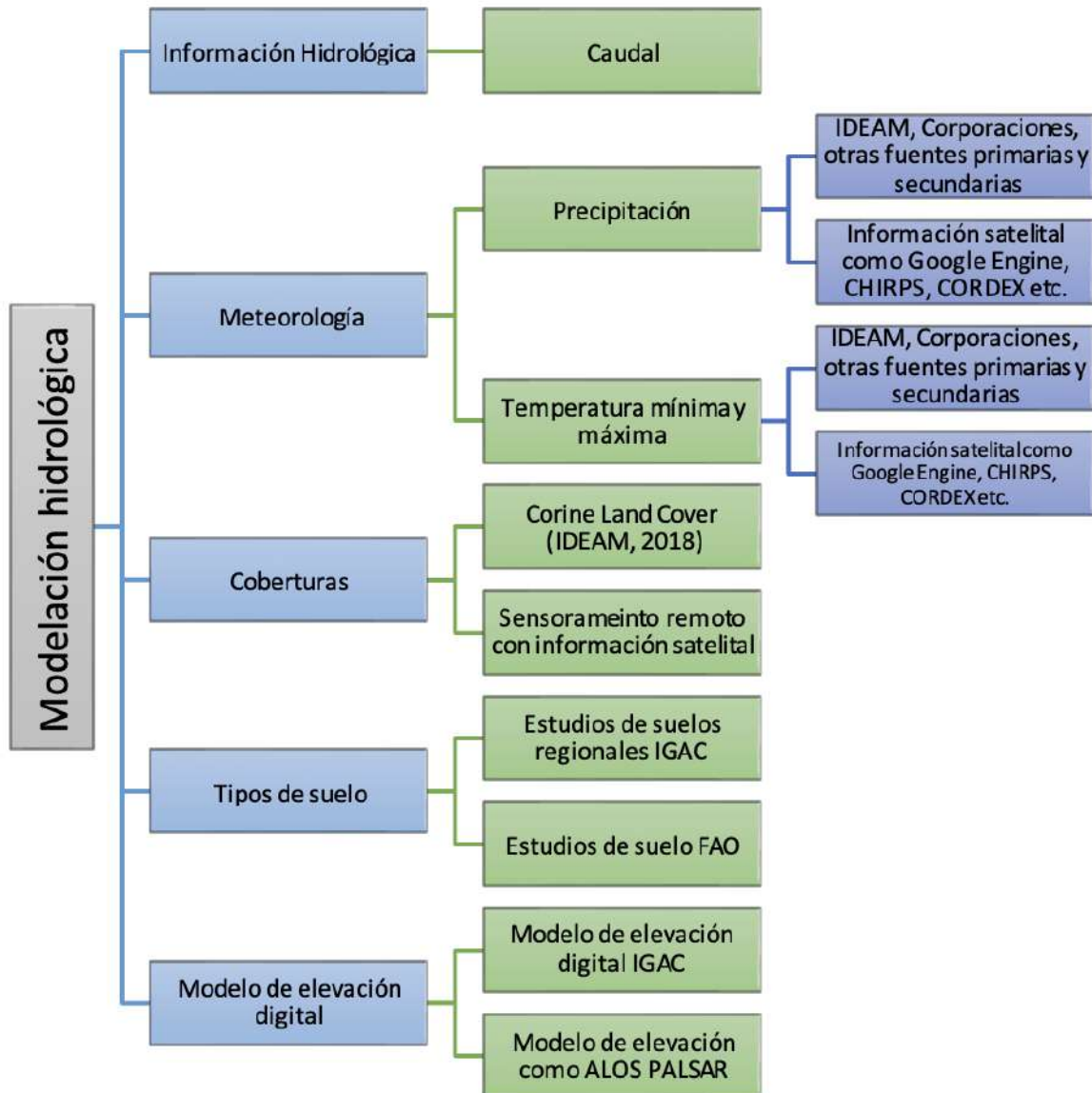
- Listado de fuentes, metadatos (ubicación, periodo, resolución, unidades, cambios operativos), y versión de cada conjunto de datos.
- Verificación de completitud, consistencia temporal
- Pruebas de homogeneidad con aplicación de pruebas (p. ej., Pettitt, SNHT, Buishand) y/o curvas de doble masa; corrección, segmentación o exclusión justificada cuando corresponda.
- Tratamiento de datos faltantes y chequeo de coherencia espacial entre estaciones.
- Examinar teleconexiones con fenómenos macroclimáticos.
- Integración de información remota, cuando se utilicen productos satelitales o de reanálisis, realizar validación local y corrección de sesgo, dejando trazabilidad metodológica.
- Entrega de reporte de criterios, pruebas, decisiones; tablas de cambios, y scripts/procedimientos que permitan replicar el preprocesamiento.
- Definir y cumplir umbrales mínimos (% máximo de faltantes por variable/estación, estabilidad poscorrección, desempeño del relleno) antes de liberar datos al modelo.

Con base en la calidad y disponibilidad de datos validados, deben definirse periodos no superpuestos de calibración (60–70 % del tramo elegible) y validación (30–40 %), garantizando representatividad climática e hidrológica. Las fechas de simulación deben ajustarse al objetivo del estudio e incluir un periodo de calentamiento (warm-up) que, como mínimo, debe cubrir el tiempo de memoria de la cuenca

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

(lapso en que se disipa la influencia de condiciones previas en los almacenamientos de suelo, flujo base y embalses). Como guía, deben considerarse 1-3 meses para cuencas rápidas; 3-6 meses cuando el flujo base es relevante; y ≥ 12 meses cuando existan almacenamientos lentos (acuiferos/embalses). La verificación de estabilidad de estados debe demostrar que los estados internos y los métricos de desempeño no cambian al aumentar el warm-up; si se evidencia cambio, debe ampliarse el warm-up hasta lograr insensibilidad. Todas las decisiones deben documentarse en tablas y anexos gráficos, incluyendo criterios de selección, porcentajes de completitud y los resultados de la verificación de estabilidad de estados.

Figura 7-4 Información mínima requerida para modelación hidrológica



Fuente: ANLA, 2023


7.2.2 Requisitos de información para la modelación hidrodinámica

La calidad de los resultados depende de la calidad, cobertura y trazabilidad de la información geométrica e hidrológica. Como base, se requiere:

- Topo-batimetría actualizada: en tramos geomorfológicamente activos, como orientación de buenas prácticas, la información topo-batimétrica se considera actualizada cuando no supera tres años o cuando es posterior al último evento que haya modificado de forma significativa la morfología del cauce.
- Series de caudal y/o nivel para condiciones de contorno e iniciales y para calibración/validación
- Coberturas y texturas representativas del cauce y de las planicies inundables para estimar rugosidades.

Las fuentes primarias incluyen aforos y mediciones de nivel/velocidad en campo conforme a protocolo.

Entre las fuentes secundarias se encuentran la red del IDEAM, las corporaciones Autonomas Regionales y entidades de gestión del riesgo. En todos los casos resulta necesario documentar origen, fechas, métodos y controles de calidad.

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

En cuanto a la representación geométrica, la batimetría se integra con la topografía “en seco” para conformar secciones transversales completas (en 1D) o un terreno continuo (en 2D/3D). Las secciones hidráulicas deben provenir de levantamientos topo-batimétricos o de sensores de alta resolución (p. ej., LiDAR); el uso de DEM con resolución más gruesa que el ancho del cauce no reproduce con fidelidad el canal húmedo y conduce a sesgos geométricos.

El alcance espacial del dominio debe cubrir, aguas arriba y abajo, una longitud suficiente para que las condiciones de frontera no distorsionen la zona de interés y para que la inundación asociada al periodo de retorno objetivo (p. ej., $T = 100$ años) quede completamente contenida, incorporando márgenes de amortiguación. En ríos, conviene incluir tramos de transición alrededor de secciones de control, confluencias, puentes y curvaturas pronunciadas; en cuerpos lénticos se deben representar los forzantes dominantes (vientos, afluencias y efluencias).

Las condiciones de contorno se formulan con caudales y/o niveles (constantes o variables en el tiempo, según el régimen), y las condiciones iniciales reflejan el estado del sistema al inicio de la simulación. En régimen no permanente, se incorpora un calentamiento (warm-up) hasta estabilizar el campo de solución antes de aplicar los forzantes principales. Para licenciamiento, la simulación suele incluir mínimos, medios, máximos y caudales ambientales, y, cuando corresponde, el tránsito de avenidas mediante hidrogramas de creciente.

La parametrización documenta rugosidades en cauce y planicies y, en 2D/3D, especifica parámetros numéricos (paso de tiempo, esquemas de advección/disipación, difusividades/viscosidades efectivas) y la cierre de turbulencia adoptado, en coherencia con las ecuaciones de gobierno. En cuerpos lénticos, la intensidad y dirección del viento se incorporan como forzantes cuando ejercen control sobre la circulación superficial.

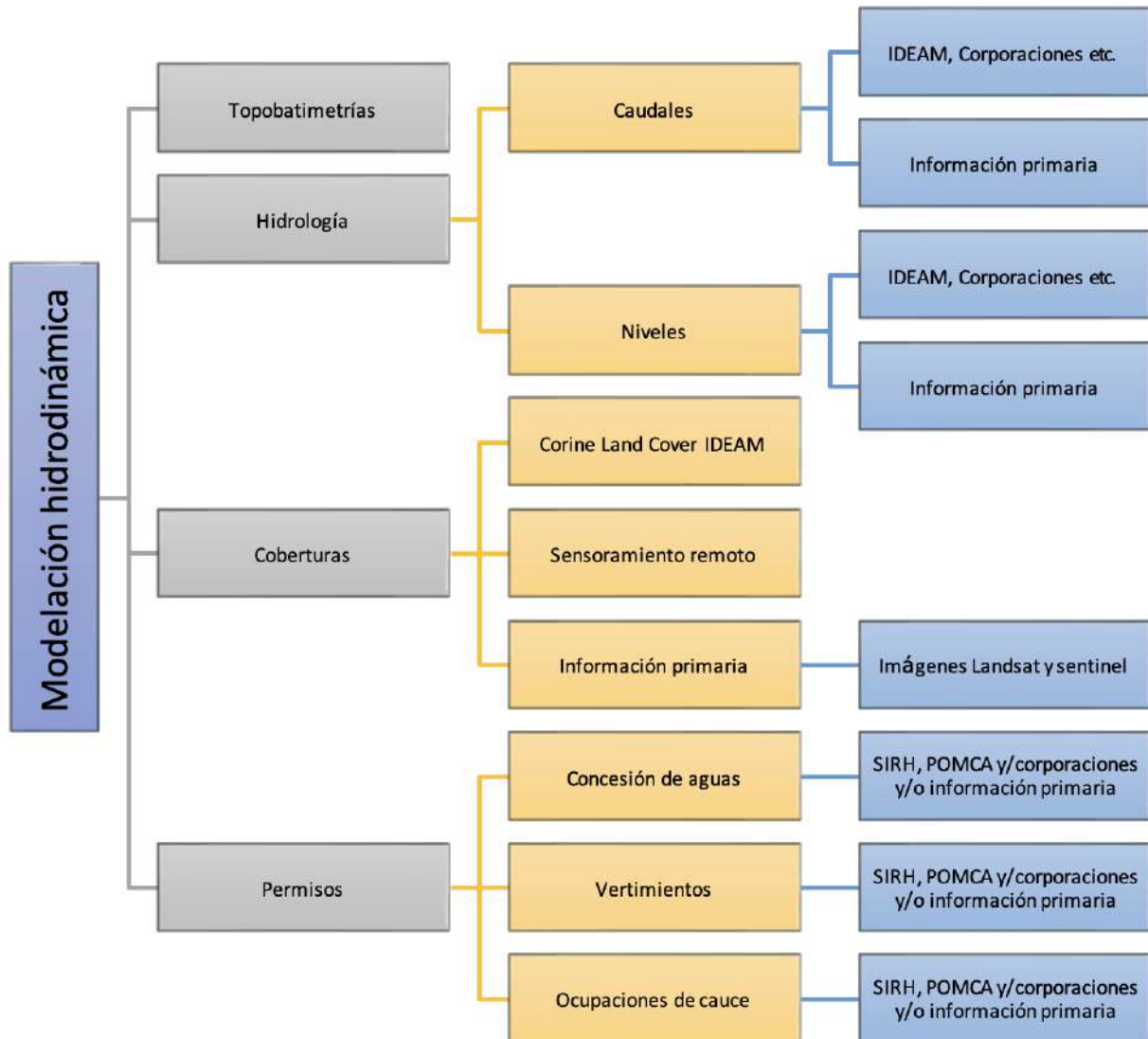
La geometría computacional se construye con un mallado consistente con la dinámica del flujo y la complejidad geomorfológica (estructurado, curvilíneo o no estructurado), verificando calidad del mallado. Se realiza una prueba de interdependencia de malla para confirmar que los resultados no dependen del refinamiento y se garantizan condiciones de estabilidad numérica mediante el cumplimiento del criterio de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL), ajustando el paso temporal y el espaciamiento hasta obtener soluciones estables y precisas.

Para calibración y validación, se emplean registros observados de nivel, caudal y/o velocidad, ajustando parámetros hidráulicos relevantes (como coeficientes de rugosidad) y reportando métricas de desempeño (NSE, RMSE, MAE u otras). En ausencia de series suficientes, pueden utilizarse huellas de agua observadas en imágenes satelitales o aerofotografías coincidentes con los eventos simulados, con la debida explicación de la incertidumbre.

En el tramo o corredor modelado se compilan los permisos formalmente expedidos por la autoridad (concesiones, vertimientos, ocupaciones de cauce) y los hallazgos de campo relativos a obras o usos no formalizados, debidamente georreferenciados y soportados, por su incidencia en el modelo conceptual y en los forzantes del sistema.

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFIJAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Figura 7-5 Información mínima requerida para modelación hidrodinámica



Fuente: ANLA, 2023

7.3 MODELO CONCEPTUAL


El modelo conceptual es la representación técnica y verificable del sistema hídrico que se desea simular. Traduce la realidad en componentes, procesos, entradas/salidas y almacenamientos, junto con las simplificaciones y supuestos necesarios para cumplir el objetivo de la modelación. Es la base sobre la cual se selecciona y configura el modelo numérico; por ello, su calidad determina la trazabilidad y la interpretación de resultados.

El modelo conceptual constituye el conjunto de hipótesis científicas adoptadas para el caso de estudio. No es único: su grado de detalle depende del objetivo específico, la escala y la calidad y disponibilidad de datos. Un modelo conceptual adecuado:

- Asegura que el modelo numérico represente los procesos dominantes a la escala del estudio (evita sobre/sub-representación).
- Delimita el dominio espacial y temporal y define qué variables deben simularse para responder al objetivo (línea base, impactos, medidas).
- Facilita la gestión de la incertidumbre (identifica vacíos de información, supuestos críticos y fuentes de variabilidad).
- Garantiza transparencia y auditoría: permite entender qué se modeló, por qué y con qué supuestos.

El modelo conceptual debe incluir, como mínimo:

- Objetivo y alcance de la modelación (qué preguntas responderá).
- Dominio espacial (cuencas/subcuencas, tramos, planicies, cuerpos lénticos) y horizonte temporal (resolución y periodo).

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

- Entradas, salidas y almacenamientos del sistema (P, ETP/ETR, captaciones/retornos, embalses, acuíferos/baseflow, humedales).
- Procesos dominantes y supuestos (p. ej., generación de escorrentía, recarga, tránsito, regulación, interacción cauce-planicie).
- Variables observables para contraste (aforos/niveles, series climáticas) y su calidad (resumen de análisis de calidad).
- Criterios de desempeño previstos para calibración/validación y estrategia de incertidumbre (sensibilidad, bandas/intervalos).
- Esquemización del sistema (diagrama obligatorio con nodos, enlaces, entradas, salidas y almacenamientos).

La documentación del modelo conceptual debe acompañarse de sus supuestos clave y su justificación técnica, así como de los insumos y evidencias (figuras y tablas) que permitan su revisión y reproducción.

7.3.1 Esquemización del sistema

La esquematización del sistema es un diagrama técnico que representa, de forma coherente y legible, la topología hidrológica (H) e hidrodinámica (Hd) del área de estudio y el flujo de información hacia el modelo. Es obligatoria y debe permitir a un tercero reproducir el montaje del modelo.

El esquema debe mostrar, como mínimo:


1. Dominio y unidades
 - o Unidades hidrográficas (cuenca/subcuencas) y tramos de río/canales con su dirección de flujo.
 - o Puntos de control (aforos, estaciones de nivel, captaciones, descargas, retornos).
2. Entradas, salidas y almacenamientos
 - o Entradas: precipitación, aportes laterales/afuentes, retornos.
 - o Salidas: captaciones, derivaciones, descargas (puntuales y difusas).
 - o Almacenamientos: suelos (resumidos por HRU/uso-cobertura y suelos), acuíferos/baseflow, humedales y embalses (conexión y operación).
3. Infraestructura e interacciones
 - o Obras existentes/proyectadas relevantes: presas, bocatomas, derivaciones, vertederos/compuestas, diques/defensas, puentes, sifones.
 - o Interacción cauce-planicie de inundación (cuando aplique) y zonas 1D-2D acopladas.
4. Condiciones de frontera e iniciales
 - o Aguas arriba: Q(t) y/o H(t) de entrada; aguas abajo: condición nivel/curva de gasto.
 - o Estado inicial de embalses/almacenamientos cuando condicionen la simulación.
5. Flujo de información y acoples
 - o Qué forzantes alimentan cada submodelo (p. ej., H lluvia-escorrentía → caudales laterales; Hd 1D/2D → niveles/tirantes).
 - o Acoples H-Hd (nodos y dirección del intercambio).
6. Consistencia espacial y trazabilidad
 - o Proyección cartográfica, resolución y alineación con DEM, red de drenaje y con instrumentos de planificación.
 - o Nomenclatura y codificación única de nodos/tramos (IDs) y versión/fecha del esquema.
7. Simbología (colores y líneas), cuadro de leyenda, tabla de nodos y tramos (ID, nombre, tipo, coordenadas clave) y referencias a insumos (capa/archivo y ruta).

7.3.2 Definición de los procesos y variables a simular

La definición de procesos y variables se debe ajustar al objetivo del estudio, a la escala espacio-temporal requerida, a la heterogeneidad relevante del sistema (clima, suelos, relieve, usos, regulación) y a la calidad y disponibilidad de datos. En esta etapa se caracterizan los procesos dominantes y se especifican las variables de salida necesarias para responder al objetivo.

En hidrología, el modelo debe representar, con el nivel de detalle pertinente, la generación de escorrentía (mecanismos por exceso de infiltración o de saturación y su intercepción), los almacenamientos y flujos subsuperficiales (humedad del suelo, flujo base con uno o más reservorios, recarga/descarga a acuífero), el tránsito en red y, cuando exista, la regulación por humedales o embalses.

Las variables a simular incluyen caudales e hidrogramas en puntos de control, escorrentías superficial y subsuperficial, almacenamientos (suelo, acuífero y cuerpos lénticos), evapotranspiración real (ETR), balances hídricos ($P - ETR - Q - \Delta S$) e indicadores de extremos (picos, volúmenes y duraciones). La resolución temporal (subhoraria, horaria, diaria o mensual) y el nivel espacial requerido (agregado, semidistribuido por subcuencas o distribuido) se deben describir como parte del modelo conceptual como requerimientos funcionales que permitirán en el paso posterior seleccionar el modelo matemático para responder al objetivo y a la resolución y calidad de los datos disponibles.

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIA DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

En hidrodinámica, deben caracterizarse la propagación del flujo en cauces y embalses y, cuando corresponda, la interacción entre el cauce y la planicie de inundación. Posteriormente, se deben definir las condiciones de frontera (Q y H), los aportes laterales significativos para el objetivo de la modelación, así como las estructuras hidráulicas y la operación (compuertas, vertederos, puentes, sifones, reglas de embalses) los cuales deben representarse explícitamente cuando condicionan niveles, tirantes y velocidades.

Las variables a simular pueden incluir niveles/tirantes, velocidades y caudales por sección; en dominios 2D o acoplados, mapas de extensión, profundidad y tiempos de inundación, además de métricas de tránsito (tiempos de viaje y ondas de crecida).

Cuando exista acoplamiento de hidrología e hidrodinámica, los hidrogramas laterales por subcuenca, y los retornos y captaciones simulados en Hidrología se emplean como forzantes en Hidrodinámica, junto con las condiciones de frontera (Q y H) y las reglas de operación. Si se requiere retroalimentación (como niveles que condicionan reglas), debe documentarse el intercambio, los nodos de acople, las unidades y la sincronización temporal.

7.4 SELECCIÓN DEL MODELO

La selección del tipo de modelo y su configuración numérica se deben fundamentar explícitamente en el modelo conceptual descrito en el numeral 7.3 y debe demostrar coherencia con la escala y datos; capacidad de verificación (calibración/validación e incertidumbre); y seguir el principio de parsimonia o navaja de Occam, el cual establece que, cuando existen múltiples explicaciones para los datos observados, se prefiere la más simple.

En este paso se decide y justifica:

- En hidrología: esquema agregado, semidistribuido o distribuido; metodología de cálculo de ETP, tratamiento de los almacenamientos y flujo base; warm-up conforme a la memoria del sistema; y criterios o métricos de desempeño, con enfoque multisitio o multiobjetivo cuando aplique.
- En hidrodinámica: esquema 1D, 2D o 1D-2D acoplado según geometría/régimen y relevancia de desbordes; representación de estructuras y reglas de operación; estabilidad numérica (Courant) y condiciones de frontera (Q/H); métricos de desempeño (errores de nivel/velocidad, tiempos de tránsito).
- En acople H e Hd: nodos de intercambio, periodicidad/unidades de acople, y consistencia Q/H. A continuación, se listan algunas recomendaciones para seleccionar el tipo de esquema a seleccionar:

7.4.1 Recomendaciones para selección del modelo - Hidrología:

La elección entre agregado, semidistribuido o distribuido se fundamenta en el objetivo, la escala espacio-temporal, la heterogeneidad relevante (clima, suelos, uso/cobertura, pendientes, regulación) y la calidad y disponibilidad de datos

- Seleccionar esquema distribuido solo si el objetivo exige resolución fina (extremos subdiarios/locales, efectos espaciales de coberturas/obras o gradientes fuertes) y existe soporte de datos (estaciones y/o productos corregidos, cartografía consistente) y verificación multisitio.
- Preferir semidistribuido (HRUs/subcuencas) cuando se necesite capturar heterogeneidad clave con parsimonia y se cuente con aforos en algunos puntos de control.
- Usar agregado en estudios de balances (mensuales/estacionales) con red observacional limitada y sin análisis de extremos.
- Siempre documentar ETP (preferente Penman-Monteith FAO-56; alternativas justificadas), almacenamientos/baseflow (número de reservorios), warm-up \geq memoria del sistema y métricos de desempeño (NSE, KGE, sesgo) con enfoque multisitio/multiobjetivo cuando aplique.

La Tabla 7-2 presenta un matriz que orienta usos frecuentes en proyectos de licenciamiento, qué productos suelen obtenerse, qué herramientas se emplean habitualmente y qué requisitos y buenas prácticas exige cada caso


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tabla 7-2 Orientación para escoger el esquema hidrológico

ESQUEMA	CUANDO CONVIENE (OBJETIVO/ALCANCE)	PRODUCTOS Y ALCANCE TÍPICOS	HERRAMIENTAS / MODELOS COMUNES*	REQUISITOS DE DATOS (MÍNIMOS Y DESEABLES)	BUENAS PRÁCTICAS
Agregado	Balances hídrico-climáticos a escala de cuenca; series diarias o mensuales; estimación de caudal ambiental; red observacional limitada; no se requiere heterogeneidad fina ni análisis de extremos localizados.	Serie de Q en salida de cuenca; partición P-ETR-Q-ΔS; estadísticos estacionales; escenarios con/ sin proyecto a escala integrada.	GR4J/GR6J, HBV(-light), NAM (MIKE HYDRO Basin), SAC-SMA, Model Tank; también HEC-HMS con hidrogramas unitarios (SCS/Clark) y almacenamiento SMA para cuenca única.	Mínimo: P y T diarias con QC, ETP (FAO-56 preferente u otra justificada); una estación de Q para contraste. Deseable: varias estaciones P/T para robustecer promedio areal; caudales en 1-2 puntos.	Promedio areal de P (Thiessen/interpolación simple) con trazabilidad; ETP diaria/mensual bien documentada; 1-2 reservorios de baseflow con recesión plausible; Tránsito de crecientes simple (lag, Muskingum); warm-up ≥ memoria del sistema.
Semidistribuido (subcuencas/ HRUs)	Se necesita capturar heterogeneidad (uso-suelo-pendiente) con parsimonia; obtener hidrogramas en varios puntos; evaluar obras/retornos por tramos; soportar medidas en puntos de control.	Q por subcuenca/punto de control; balances por unidad; respuesta diferenciada por HRUs; análisis de escenarios (cambios de cobertura, retornos/captaciones) con traza espacial moderada.	HEC-HMS (pérdidas SMA, transformaciones Clark/SCS, Tránsito de crecientes Muskingum-Cunge), SWAT/SWAT+ (HRUs), NAM por subcuencas, VIC en modo por áreas agregadas.	Mínimo: varias estaciones P/T (≥3 representativas en la cuenca), DEM y capas de suelos/ usos consistentes; al menos un aforo aguas abajo y, deseable, en puntos intermedios. Deseable: CHIRPS/IMERG con corrección de sesgo; redes de Q más densas.	Definir HRUs por combinaciones uso-suelo-pendiente; ETP FAO-56 o Hargreaves (justificada); Tránsito de crecientes Muskingum-Cunge con parámetros físicos; integrar captaciones/retornos con calendario; warm-up 3-6 meses si hay baseflow; verificar coherencia espacial entre subcuencas.
Distribuido (celda a celda)	El objetivo exige resolución fina (p. ej., extremos subdiarios, efectos espaciales de coberturas/obras, gradientes fuertes, interacción detallada ladera-canal); existe soporte de datos y capacidad de verificación multisitio.	Campos espaciotemporales de escorrentía y almacenamientos por celda; hidrogramas locales; diagnóstico fino de zonas fuente y tiempos de viaje; insumos refinados para Hidrodinámica.	MIKE SHE, DHSVM, TRIBS, WRF-Hydro, LISFLOOD, GSSHA; HEC-HMS en modo gridded (según caso).	Mínimo: P/T a resolución subdiaria o diaria de alta calidad; DEM adecuado (resolución y calidad vertical); capas físicas (suelos/uso) detalladas; Q en múltiples puntos para verificación. Deseable: radar/satélite corregido, pluviografía densa, campañas específicas.	Malla coherente con DEM; Tránsito de crecientes difusivo/kinemático explícito; Δt sujeto a estabilidad del solver; prueba de independencia espacial/temporal; verificación de conservación de masa y cierres por subdominios; documentar costo computacional vs. ganancia en precisión.

Fuente: ANLA, 2025

7.4.2 Recomendaciones para selección del modelo - Hidrodinámica

La elección entre 1D, 2D o 1D-2D acoplado depende de la geometría, régimen, la relevancia de desbordes y la calidad y disponibilidad de datos

- 1D: cauce confinado, sin desbordes relevantes; interés en niveles y caudales por sección
- 2D: se requieren mapas de inundación, profundidades, velocidades y tiempos de llegada en planicie con conectividad lateral.
- 1D-2D acoplado: cauce principal en 1D con intercambio hacia planicie 2D en sectores críticos.

Es indispensable representar las estructuras hidráulicas y reglas de operación que condicionen las variables a simular, verificar estabilidad numérica (Courant), definir condiciones de frontera (Q/H) y validar con niveles/velocidades y marcas de inundación (métricos de error y tiempos de tránsito).

Acople Hidrología e Hidrodinámica: Definir nodos de intercambio, unidades y paso temporal del acople (p. ej., hidrogramas horarios hacia Hd); comprobar consistencia Q/H y cierre de volúmenes en eventos; documentar una tabla de acople (nodo H, tramo Hd, variable, unidades, frecuencia, desfase) y scripts.


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIA DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tabla 7-3 Orientación para escoger el esquema hidrodinámico

ESQUEMA	CUANDO CONVIENE (OBJETIVO/ALCANCE)	PRODUCTOS Y ALCANCE TÍPICOS	HERRAMIENTAS / MODELOS COMUNES*	REQUISITOS DE DATOS (MÍNIMOS Y DESEABLES)	BUENAS PRÁCTICAS CLAVE
1D (Saint-Venant / FGV / no permanente)	Cauce confinado o poca conectividad lateral; análisis de perfiles de nivel, tránsito de crecientes por secciones, capacidad hidráulica y estructuras lineales (puentes, obras longitudinales).	Perfiles H-Q, tirantes por sección, velocidades medias, tiempos de tránsito; evaluación de capacidad y sobreelevaciones puntuales.	HEC-RAS 1D, MIKE 11, InfoWorks ICM (1D), SOBEK (1D)	Topo-batimetría por secciones, curvas de gasto/aforos, series Q(t)/H(t) para fronteras; n de Manning por tramo. Deseable: campañas recientes post-evento.	Representar secciones completas (cauce y llanura de inundación), ubicar y parametrizar estructuras (contracciones/pérdidas); definir fronteras coherentes (Q arriba / H o H-Q abajo); verificar cierres de volumen y estabilidad; usar FGV para estado permanente y no permanente para tránsito real.
2D (aguas someras SV-2D u onda difusiva)	Mapas de inundación (extensión, profundidades, velocidades), conectividad lateral, meandros/planicies; evaluación de riesgo, obras transversales, ocupación de cauce y zonas urbanas.	Mapas de profundidad/velocidad/tiempo de llegada, número de Froude, líneas de corriente; perfiles y series en puntos de control.	HEC-RAS 2D, Iber, TUFLOW, MIKE 21/21FM, TELEMAC-2D, BASEMENT, FLO-2D, SRH-2D	MDE + batimetría integrados en terreno continuo, rugosidades (cauce/planicie) especializadas, Q(t)/H(t) de frontera, marcas de inundación o huellas satelitales para contraste. Deseable: topografía LIDAR reciente; series viento en lénticos.	Malla ajustada a cauce y zonas críticas (refinamiento progresivo 20-30%); CFL controlado (Δt adaptativo cuando exista); independencia de malla (≥ 2 refinamientos); balance de masa por evento; validar con marcas/huellas y errores de nivel/área (acierto-omisión).
1D-2D acoplado	Cauce principal bien representable en 1D con desbordes frecuentes a planicie 2D; corredores largos con economía computacional, pero necesidad de mapear inundación lateral.	Perfiles y H-Q en 1D + mapas 2D de extensión/profundidad/velocidad; intercambio cauce-planicie en puertas/links.	HEC-RAS 1D-2D, MIKE 11-21/21FM link, InfoWorks ICM 1D-2D, TELEMAC 1D-2D	Lo de 1D + 2D: secciones de calidad y terreno 2D consistente; definición explícita de nodos de intercambio (puertas/aberturas) y coeficientes.	Definir aperturas y condiciones de intercambio con criterio hidráulico; cuidar consistencia H/Q y evitar doble conteo de aportes; sincronizar Δt entre dominios; verificar cierres de volumen y picos/tiempos en ambas mallas.
3D / cuasi-3D (multicapa)	Estratificación térmica/salina en embalses, lagunas, estuarios; circulación forzada por viento; procesos verticales relevantes (seiches, intrusión salina).	Campos 3D/2D-multicapa de velocidad, temperatura/salinidad, cizalla; perfiles verticales; trayectorias.	Delft3D-FM, TELEMAC-3D, MIKE 3, Delft3D-Flow clásico	Bathy+topo detalladas, series de viento y forzantes hidrológicos (Q/H), parámetros de turbulencia; en estuarios, mareas y densidad (T/S). Deseable: boyas/ADCP/perfiles T-S.	Elegir cierre de turbulencia adecuado; calibrar viento-arrastre; malla vertical (σ o capas z) coherente con estratos; CFL 3D y disipación numérica controlados; alto costo → justificar parsimonia y dominios.

Fuente: ANLA, 2025

7.4.3 Otras recomendaciones

Antes de cerrar la decisión, es necesario verificar y dejar documentado que la alternativa seleccionada corresponde a la complejidad mínima suficiente (parsimonia) para representar los procesos dominantes; que existen datos y control de calidad que soportan el nivel de detalle elegido; que se definieron métricos de desempeño, sitios y periodos de calibración/validación y criterios de aceptación; que el warm-up cubre, como mínimo, la memoria del sistema en hidrología y que, en hidrodinámica, se cumplieron el criterio de Courant y las condiciones de estabilidad; que, en caso de acople H e Hd, se explicitaron nodos de intercambio, unidades, frecuencias y desfases; y que se anexan las comparativas de alternativas y la trazabilidad completa (datos, software y figuras).

Asimismo, es necesario especificar la justificación de la selección del software o código, el nombre y la versión exacta de la herramienta, la licencia, la fecha de instalación/descarga y, cuando aplique, el DOI/URL oficial. También se debe consignar la configuración utilizada (parámetros clave, opciones numéricas, tamaño de malla/ Δt , criterios de convergencia, semillas aleatorias).

En caso de desarrollos propios o adaptaciones, es obligatorio adjuntar los scripts/notebooks que garanticen trazabilidad y reproducibilidad, incluyendo dependencias y versiones, archivo de requisitos/ambiente, rutas de datos de entrada, esquema de control de versiones. Debe conservarse, el registro de cambios y la comparación de alternativas que respalda la elección realizada.

7.5 IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL MODELO SELECCIONADO


Esta sección establece los pasos para montar, configurar y verificar el modelo seleccionado con base en el modelo conceptual. Se detallan los requisitos de configuración numérica, la definición de condiciones de frontera e iniciales, los criterios de estabilidad y pruebas de independencia y el calentamiento (warm-up).

7.5.1 Modelos hidrológicos

Este numeral desarrolla la implementación del esquema hidrológico seleccionado en 7.4 (agregado, semidistribuido o distribuido) sobre el dominio y procesos definidos en 7.3. Aquí se precisan: (i) la configuración del modelo (representación espacial y parámetros de procesos), (ii) la definición de condiciones de frontera e iniciales, (iii) los criterios de estabilidad numérica y la prueba de independencia espacial/temporal cuando apliquen, y (iv) el calentamiento (warm-up) en función de la memoria del sistema. Todo lo relativo a insumos, preparación y control de calidad de datos se encuentra en 7.2; la elección del nivel de detalle y parsimonia en 7.4. La ejecución deberá mantener coherencia, trazabilidad y consistencia con esos numerales.

7.5.1.1 Representación espacial y temporal.

En modelos semidistribuidos, la cuenca se divide en subcuencas o unidades de respuesta hidrológica que combinan uso, cobertura, suelo y pendiente; su implementación es natural en HEC-HMS (subcuencas con SMA) y SWAT/SWAT+ (HRUs por combinación uso-suelo-pendiente dentro de cada subcuenca). En modelos distribuidos, el territorio se representa por celdas; esto es propio de MIKE SHE, DHSVM, WRF-Hydro, LISFLOOD o GSSHA, donde la malla y el DEM gobiernan la conectividad y los tiempos de viaje. En modelos

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

agregados, la representación es de cuenca única o pocas unidades agregadas (GR4J/HBV/NAM/SAC-SMA), por lo que toda la variabilidad espacial se resume en promedios areales y parámetros efectivos. En todos los casos, las capas deben compartir proyección, resolución y alineación con el DEM y la red de drenaje, y ser consistentes con las unidades hidrográficas oficiales. Se deben justificar los umbrales de área mínima y las reglas para fusionar o dividir unidades. El paso temporal se elige según el objetivo y la resolución de los forzantes: en agregados suelen usarse pasos diarios o mensuales; en semidistribuidos son comunes diarios u horarios cuando se analizan eventos; en distribuidos se emplean subhorarios/horarios para resolver Tránsito de crecientes cinemático/difusivo. Toda agregación (por ejemplo, de horario a diario) se deben documentar con su efecto esperado sobre picos y volúmenes.

7.5.1.2 Forzantes climáticas y evapotranspiración.

La precipitación se obtiene por el método adoptado (Thiessen, IDW, kriging o fusión estación-satélite), reportando validaciones internas y sesgos residuales conforme a 7.2.1. En agregados (GR4J, HBV, NAM, SAC-SMA o HEC-HMS de cuenca única) se usa el promedio areal de cuenca, calculado con Thiessen/interpolación y, cuando convenga, ajustado con productos satelitales corregidos. En semidistribuidos (HEC-HMS por subcuencas, SWAT/SWAT+) la precipitación se asigna por subcuenca o por HRU; SWAT admite importar rejillas y distribuir campos según elevación/zonas térmicas. En distribuidos (MIKE SHE, DHSVM, WRF-Hydro, LISFLOOD, GSSHA) la precipitación forzante se mapea por celda, con posibilidad de usar rejillas satelitales/reanálisis corregidas localmente. La temperatura y demás variables se incorporan con unidades correctas y, cuando sea necesario, con gradientes altitudinales (lapse rate). La ETP se calcula según lo definido en 7.4, preferentemente Penman-Monteith FAO-56, y se distribuye como valor de cuenca en agregados, por subcuenca/HRU en semidistribuidos (SWAT lo hace internamente) y por celda en distribuidos (MIKE SHE puede usar ETP espacial, WRF-Hydro deriva flujos de superficie desde su esquema de suelo/LSM).

7.5.1.3 Procesos en suelo, pérdidas e hidratación del perfil.

Se activa la representación de intercepción, evapotranspiración real y percolación conforme al nivel de detalle del modelo. En agregados, las pérdidas y la generación de escorrentía se parametrizan con esquemas compactos: por ejemplo, GR4J usa dos reservorios (producción y Tránsito de crecientes) con intercambio; HBV emplea capas de lluvia, almacenamiento de suelo y tanques de respuesta; SAC-SMA representa múltiples tanques superficiales y subterráneos; NAM utiliza cuatro reservorios acoplados. En HEC-HMS las pérdidas pueden implementarse con SCS-CN, Green-Ampt, Horton, Initial & Constant o el esquema SMA; en SWAT/SWAT+ la infiltración se representa típicamente con SCS-CN (opción de Green-Ampt en condiciones específicas), y la ETR con balance de energía simplificado por HRU. En MIKE SHE, DHSVM, GSSHA o WRF-Hydro, el suelo se resuelve espacialmente: MIKE SHE permite desde balance tipo 2-capas hasta la ecuación de Richards en la zona no saturada; DHSVM utiliza capacidad de infiltración variable con parámetros por celda; GSSHA implementa Green-Ampt espacial y Tránsito de crecientes difusivo en sobrecara; WRF-Hydro acopla el esquema de suelo del LSM (p. ej., Noah-MP) con escorrentía superficial y subsuperficial. La caracterización del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez, porosidad y conductividades) se asigna como parámetro efectivo en agregados, por HRU en semidistribuidos y por celda en distribuidos.

En la Tabla 7-4 se listan los modelos más usados y sus parámetros; su aplicación típica es: SCS-CN en HEC-HMS y SWAT (agregado/semidistribuido), Green-Ampt en HEC-HMS y GSSHA (eventos y distribuidos), Horton para eventos en HEC-HMS y esquemas lineales cuando solo se requiere cierre simple de pérdidas en agregados.


Tabla 7-4. Modelos de infiltración

MODELO DE INFILTRACIÓN	PARÁMETROS REQUERIDOS
Soil Conservation Service (SCS)	<ul style="list-style-type: none"> Número de curva
Green-Ampt	<ul style="list-style-type: none"> Succión Porosidad Total Saturación inicial Permeabilidad del suelo en dirección vertical Pérdidas iniciales Profundidad del suelo
Horton	<ul style="list-style-type: none"> Índice de infiltración inicial máxima Indice de pérdidas mínimas de infiltración Coefficiente de decaimiento
Modelo lineal	<ul style="list-style-type: none"> Pérdidas iniciales Infiltración potencial

Fuente: (Miner, 2003)

7.5.1.4 Flujo base, interacción con aguas subterráneas y regulación.

El flujo base se modela con uno o más reservorios lineales o no lineales; en modelos agregados se ajustan constantes de recesión y fracciones de intercambio a partir de curvas de recesión y estacionalidad. En semidistribuidos el baseflow se representa por reservorios por unidad (p. ej., acuífero superficial/profundo en SWAT) y se agregan en el punto de control. En distribuidos la descarga base se resuelve espacialmente y puede acoplarse con un módulo de acuífero (MIKE SHE) o con flujo subsuperficial explícito (DHSVM, WRF-Hydro). Cuando existan humedales o embalses, en agregados o semidistribuidos se agregan como almacenamientos con curvas área-volumen-nivel y, si corresponde, reglas de operación (HEC-ResSim, módulos de reservorios en HEC-HMS/SWAT); en distribuidos se pueden representar como celdas/volúmenes conectados con reglas explícitas (MIKE SHE, GSSHA).

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

7.5.1.5 Tránsito en ladera y en red.

El método de Tránsito de crecientes se selecciona según escala y esquema. En agregados es habitual un Tránsito de crecientes simple (lag, Muskingum) sobre el hidrograma transformado; HEC-HMS permite Muskingum-Cunge por tramos cuando se desea mayor realismo sin abandonar la parsimonia. En semidistribuidos, HEC-HMS usa Clark/SCS para transformación a escala de subcuenca y Muskingum-Cunge en red principal; SWAT rutea aportes por subcuenca y canal con parámetros hidráulicos simplificados. En distribuidos, el tránsito en ladera y cauce se resuelve con onda cinemática o difusiva explícita por celda o tramo: GSSHA, DHSVM, LISFLOOD y HEC-HMS gridded implementan esquemas cinemáticos y difusivos; MIKE SHE integra Tránsito de crecientes de sobrecara y en cauces con enlaces a MIKE 11 cuando corresponde. En discretizaciones finas, se asegura la consistencia entre pendientes, longitudes de flujo y la topología de la red derivada del DEM.

7.5.1.6 Condiciones de frontera e iniciales.

Las fronteras hidrológicas se deben asignar conforme al modelo conceptual: en agregados de cuencas de cabecera usualmente no se imponen caudales de entrada; cuando el dominio es intermedio se puede prescribir $Q(t)$ aguas arriba observada para forzar el sistema (HEC-HMS lo permite). En semidistribuidos y distribuidos, los límites se definen por subcuencas/celdas de borde; cuando existan estaciones aguas arriba, se pueden usar series observadas como forzantes de entrada. Los estados iniciales (almacenamientos de suelo, reservorios de baseflow y niveles en cuerpos regulados) deben ser consistentes con el periodo inmediatamente anterior al inicio; en agregados y semidistribuidos se deben fijar volúmenes iniciales por reservorio; en distribuidos se inicializan campos espaciales de humedad y almacenamientos. Cuando no haya observación directa, se debe ejecutar una corrida de calentamiento (warm-up) hasta alcanzar estados coherentes con los balances

7.5.1.7 Estabilidad numérica

La estabilidad numérica es relevante cuando el esquema hidrológico resuelve ecuaciones en espacio y tiempo (tránsito por onda cinemática o difusiva en ladera o cauce, o cuando se usa un esquema distribuido celda a celda). En estos casos, el paso temporal (Δt) y la resolución espacial (Δx) deben satisfacer el criterio de estabilidad del solver. Para métodos explícitos, se verifica el número de Courant (CFL), definido en términos de la velocidad característica y la razón $\Delta t/\Delta x$; como orientación práctica, se debe operar con $CFL \leq 1$ (preferible $< 0,8$) para evitar oscilaciones y mantener la precisión. Cuando se utilicen esquemas implícitos o semiimplícitos, aunque la restricción de CFL sea menos estricta, se debe comprobar que no aparezcan oscilaciones no físicas ni difusión numérica excesiva que distorsione picos y tiempos de viaje. La estabilidad también requiere consistencia entre la topología de la red, pendientes y longitudes hidráulicas derivadas del DEM: discretizaciones demasiado finas con pendientes ruidosas o talwegs mal definidos pueden generar errores de propagación. En modelos agregados y semidistribuidos sin resolución espacial explícita, la estabilidad se refiere a la integración temporal de los reservorios (elección de Δt consistente con la inercia de los tanques) y al correcto cierre de masa; en todo caso, ante señales de inestabilidad (picos serrados, caudales negativos, balances abiertos) se debe reducir Δt , revisar parámetros de tránsito y suavizar inconsistencias geométricas.

7.5.1.8 Prueba de independencia de malla (y temporal)

Cuando el modelo representa procesos en una malla espacial (distribuidos o semidistribuidos con tránsito por celdas), se debe demostrar que los resultados no dependen artificialmente del refinamiento. La prueba consiste en ejecutar el mismo periodo con al menos dos refinamientos espaciales (por ejemplo, Δx base y $\Delta x/2$) manteniendo parámetros físicamente equivalentes y comparando: (i) cierres de masa por subdominio y total, (ii) métricas de desempeño en puntos de control (NSE/KGE, sesgo, error de pico y tiempo al pico), y (iii) diagnósticos agregados (volúmenes y láminas escurridas). La independencia se alcanza cuando el cambio relativo de estas métricas entre refinamientos cae por debajo de un umbral razonable ($\leq 5-10\%$ en NSE/KGE y $\leq 5\%$ en volúmenes), y no se observan desplazamientos sistemáticos del tiempo de tránsito. De forma análoga, se recomienda una prueba de independencia temporal reduciendo Δt (p. ej., Δt y $\Delta t/2$) hasta lograr insensibilidad de picos, tiempos y balances. Si el refinamiento mejora el ajuste, pero a un costo computacional desproporcionado, debe justificarse con el principio de parsimonia: se adopta el nivel más simple que no degrade las métricas ni altere conclusiones. Todo el procedimiento (configuraciones, resultados y criterio de aceptación) se debe documentar


7.5.1.9 Calentamiento (warm-up) de modelos hidrológicos

El warm-up es el periodo inicial que se simula, pero no se analiza, usado para que los estados internos (humedad del suelo, almacenamientos de baseflow y volúmenes en regulaciones) alcancen valores coherentes con el régimen hidrológico previo al periodo de interés. El largo del warm-up debe cubrir, como mínimo, la memoria de la cuenca (tiempo característico de vaciamiento de almacenamientos), que puede inferirse de curvas de recesión y del peso del flujo base. Como guía: 1-3 meses en cuencas rápidas con escurrimiento dominante; 3-6 meses cuando el flujo base es relevante; y ≥ 12 meses cuando existan almacenamientos lentos (acuíferos y/o embalses con operación). En modelos agregados y semidistribuidos, el warm-up se usa para estabilizar tanques y reservorios; en distribuidos, además estabiliza campos espaciales de humedad del suelo. La verificación del warm-up requiere una prueba de insensibilidad: se incrementa progresivamente su duración y se comprueba que los métricos de desempeño (NSE/KGE, sesgo, error de pico y tiempo al pico) y los estados medios al inicio del periodo de análisis no cambian de forma significativa; si cambian, se amplía el warm-up. El periodo no debe contarse ni en la calibración ni en la validación, y su duración final, criterios y resultados de verificación deben quedar documentados (tablas y figuras) junto con la justificación hidrológica.

7.5.1.10 Trazabilidad y evidencias mínimas.

La configuración se debe acompañar de una tabla por unidad espacial con parámetros relevantes (suelo, infiltración, reservorios de baseflow, método de Tránsito de crecientes y, si existe, regulación), metadatos de forzantes con fuente, procesamiento, versión y fecha de descarga, el archivo de control del modelo con periodo y paso temporal.

Cualquier modificación posterior (cambio de método de Tránsito de crecientes, número de reservorios o reglas) debe registrarse en un historial de cambios con fecha, motivo, archivos afectados y efectos sobre salidas. En síntesis, la configuración correcta es aquella que,

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

con la menor complejidad necesaria, representa los procesos dominantes definidos en 7.3, respeta las decisiones de 7.4 y deja una línea de auditoría completa que permita repetir la simulación y obtener resultados equivalentes.

7.5.1.11 Estabilidad numérica

La estabilidad numérica en modelos hidrológicos solo aplica cuando se desarrollan modelos distribuidos con la solución de ecuaciones como onda cinemática, difusiva etc. Resaltando, que las consideraciones son las mismas que se relacionan en la sección 7.5.2.7.

7.5.1.12 Prueba de interdependencia de malla

La prueba de interdependencia de malla en modelos hidrológicos solo aplica cuando se desarrollan modelos distribuidos con la solución de ecuaciones como onda cinemática, difusiva etc. Para este caso las consideraciones son las mismas que se relacionan en la sección 7.5.2.6.

7.5.1.13 Calentamiento modelos hidrológicos

Dentro de las buenas prácticas de modelación está la generación de un calentamiento al modelo hidrológico el cual debe excluir entre 1.5 meses y 6 meses del periodo de simulación, los cuales son considerados tiempo de calentamiento del modelo. (Kim et al., 2018).

7.5.2 Modelos hidrodinámicos

La implementación de un modelo hidrodinámico parte del modelo conceptual (7.3) y de la selección técnica (7.4) y consiste en construir una representación numérica que resuelva la propagación del flujo en cuerpos lóticos y lénticos con las ecuaciones y aproximaciones elegidas. En 1D el dominio se discretiza con una cadena de secciones transversales a lo largo del cauce: se exige topo-batimetría confiable, continuidad de cotas, definición de confluencias y obras, asignación de rugosidades por zonas de la sección, pérdidas locales en estructuras y condiciones de frontera en Q/H; la verificación numérica se centra en el espaciamiento entre secciones, el paso de tiempo y la estabilidad de la solución. En 2D el terreno se representa mediante una malla en el plano (estructurada, curvilínea o no estructurada) construida sobre un terreno continuo que integra batimetría y topografía, libre de artefactos; la malla debe capturar el cauce húmedo con refinamientos localizados y gradaciones suaves hacia la planicie, y requiere controles de calidad (ángulos, ortogonalidad, relación de aspecto), así como pruebas explícitas de independencia de malla, y de paso temporal y de estabilidad numérica. En 3D o en 2D multicapa además de la malla horizontal se define la discretización vertical (capas sigma o niveles z) para representar estratificación y circulaciones forzadas por densidad o viento, junto con el cierre de turbulencia y forzantes adicionales. En todos los casos, antes de correr escenarios se debe consolidar y verificar la geometría hidráulica (batimetría, topografía y estructuras), las condiciones de contorno e iniciales y los parámetros físicos y numéricos; y cada decisión deja trazabilidad reproducible (archivos de configuración, versión del software, scripts y control de cambios), en coherencia con los numerales 7.2 y 7.4.


7.5.2.1 Ecuaciones de gobierno hidrodinámica

Los modelos hidrodinámicos resuelven, con distintos niveles de simplificación, las ecuaciones de conservación para fluidos newtonianos e incompresibles en aguas superficiales (Kundu et al., 2015). En su forma más completa (Navier-Stokes), la solución directa es propia de contextos tridimensionales o estratificados; para la mayor parte de aplicaciones fluviales y de inundación se adoptan las ecuaciones de aguas someras de Saint-Venant en 1D o 2D, en régimen permanente o no permanente, con cierres y términos adicionales que representan la fricción (p. ej., Manning) y, cuando corresponde, efectos de turbulencia efectiva (Szymkiewicz, 2010). Dependiendo del régimen hidráulico y de la información disponible, es admisible utilizar aproximaciones de la ecuación de cantidad de movimiento: onda dinámica (retiene términos inerciales), onda difusiva (suprime aceleraciones locales pero conserva difusión/almacenamiento) y onda cinemática (asume equilibrio entre pendiente del fondo y pérdida por fricción). La elección se justifica en 7.4 por geometría, régimen y objetivo: cauces confinados y sin desbordes relevantes suelen representarse adecuadamente en 1D (Saint-Venant 1D o flujo gradualmente variado en permanente/cuasiestacionario), mientras que planicies activas, conectividad lateral y mapas de extensión y profundidad exigen 2D o acople 1D-2D. En cuerpos lénticos someros y estuarios dominados por viento y forzantes de marea, la formulación 2D es usual; en embalses estratificados o zonas costeras/offshore, se deberá recurrir a enfoques 2D multicapa o 3D con promediación en la horizontal o en la vertical, según el gradiente dominante. En todos los casos se debe documentar la forma de las ecuaciones, los términos retenidos/omitidos y los cierres utilizados, de modo que un tercero pueda comprender el alcance y las limitaciones hidrodinámicas del montaje. La Tabla 7-5 ofrece una guía orientativa para seleccionar la ecuación a resolver según el tipo de cuerpo de agua.

Tabla 7-5. Ecuaciones a solucionar recomendadas según cuerpo de agua a modelar

TIPO	ECUACIÓN
Ríos sinuosos o meándricos	Saint-Venant 2D u Onda Difusiva
Ríos rectilíneos	Saint-Venant 1D o FGV
Cuerpos lénticos someros	Saint-Venant 2D u Onda Difusiva
Zonas estuarinas	Saint-Venant 2D u Onda Difusiva
Canales rectilíneos	Saint-Venant 1D o FGV
Modelos hidrológicos distribuidos	Onda Difusiva
Embalses o zonas offshore	Navier-Stokes o Saint-Venant 2D para varias capas (cuasi-tridimensional)

Fuente: ANLA, 2023

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

7.5.2.2 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno definen los forzantes de entrada y salida sobre las fronteras del dominio computacional y son indispensables para la solución del problema. Se especifican como Dirichlet (variable impuesta por el usuario, p. ej., caudal $Q(t)$ o nivel $H(t)$) o Neumann (gradiente o relación flujo-nivel evaluada por el modelo, p. ej., condición de caudal libre)(Fletcher, 2012).

La selección obedece a la disponibilidad y calidad de datos y al objetivo del estudio. En ríos, es usual imponer caudales $Q(t)$ aguas arriba (curvas o series temporales representativas de mínimos, medios, máximos, ambientales y, si aplica, hidrogramas de creciente para tránsito de avenidas) y niveles $H(t)$ o curvas gasto-nivel aguas abajo; alternativamente, cuando existe control hidráulico claro (vertedero/estructura), el contorno se expresa como relación $H-Q$. En cuerpos lénticos, la frontera se debe forzar con afluencias o efluencias y, cuando sea el caso, viento (módulo y dirección) o marea. Todas las series prescritas deben provenir de mediciones con QC (7.2) o de salidas verificadas de Hidrología (en acople H-Hd), manteniendo unidades, resolución temporal y sincronización con el paso de tiempo del solver. Se recomienda incluir tramos de amortiguación aguas arriba y abajo para minimizar la influencia artificial del contorno sobre la zona de interés, y reportar la sensibilidad del resultado a alternativas razonables de contorno cuando existan incertidumbres relevantes.

7.5.2.2.1 Caudal

Cuando el contorno de entrada se defina como caudal, se debe prescribir $Q(t)$ constante (régimen permanente) o variable en el tiempo (régimen no permanente), de acuerdo con el objetivo y el régimen a estudiar. En licenciamiento deben simularse, como mínimo, las condiciones de diseño e impacto (Q_{min} , Q_{med} , Q_{max} , $Q_{ambiental}$) y, cuando el objetivo lo exija, series históricas o hidrogramas de avenida derivados de análisis hidrológicos consistentes (véanse 7.2 y 7.3).

En la salida, el caudal puede quedar diagnosticado por el modelo (a partir de un nivel/condición aguas abajo) o impuesto cuando exista un control aguas abajo bien caracterizado (curva $H-Q$ en una sección de control). En todos los casos se debe documentar el origen de cada serie (aforos, estaciones, reconstrucciones), las incertidumbres asociadas y cualquier ajuste aplicado (rellenos, suavizados, sincronizaciones y cambios de resolución temporal).

La simulación en no permanente (unsteady) es la opción preferente cuando el objetivo involucra caudales transitorios o extremos: tránsito de avenidas (hidrogramas de creciente), verificación de tiempos al pico y atenuación entre secciones, evaluación de operaciones (maniobras en vertederos/compuertas, cambios de derivaciones), análisis de inundación en planicie y cualquier situación en la que la historia temporal del caudal condicione niveles y velocidades. En contraste, el régimen permanente o cuasiestacionario (FGV) es aceptable para comparaciones estáticas (perfiles para Q_{min} , Q_{med} , Q_{max} o $Q_{ambiental}$) en cauces confinados y sin desbordes, cuando no se requiere reproducir la evolución temporal.

Para la modelación de rompimiento de presas o vaciados rápidos o existe infraestructura capaz de liberar grandes volúmenes en poco tiempo, se deben simular escenarios transitorios con hidrogramas de rotura u orificios o compuertas equivalentes, coherentes con el estudio de seguridad de presas o con metodologías aceptadas. El dominio debe cubrir las ondas de choque y zonas de expansión; se recomienda paso de tiempo corto y variable (control por CFL), refinamiento de malla en las obras y pasos restringidos, y validar razonablemente tiempos de llegada, picos y profundidades. Estos escenarios son obligatorios cuando el riesgo potencial lo amerita y se reportan con mapas de profundidad/velocidad, curvas $H-t$ y $Q-t$ en puntos críticos y bandas de incertidumbre.

Para sequías, caudales ecológicos y operación en estiaje, se recomiendan series no permanentes que reproduzcan la persistencia de bajos caudales (p. ej., periodos multimensuales asociados a percentiles como Q_{95}), las maniobras de captación y retorno y la sensibilidad de niveles en pasos someros. El tipo permanente es suficiente para verificar tirantes mínimos ante caudales característicos aislados; si hay variabilidad intra-diaria por operación o demanda variable, debe usarse no permanente con el cronograma horario de usos.

Como criterio práctico, se debe optar por no permanente cuando (i) el tiempo de tránsito sea comparable con la escala temporal del forzante $Q(t)$, (ii) exista almacenamiento significativo (embalses, humedales, planicies) con histéresis, (iii) se requieran mapas de extensión/tiempos de llegada, o (iv) haya operación variable o riesgo de liberaciones súbitas. El permanente/FGV es suficiente en sistemas cuasiestáticos, confinados y sin desbordes, cuando el interés es un estado representativo (perfil para un Q dado). La Tabla 7-6 presenta las alternativas de simulación con respecto a la condición de contorno.

Tabla 7-6. Condición temporal dependiendo del caudal a simular


CONDICIÓN DE CONTORNO	PERMANENTE	NO PERMANENTE
Caudal mínimo	X	
Caudal medio	X	
Caudal máximo*	X	X
Caudal ambiental	X	
Serie de tiempo caudal medio diario		X

Fuente: ANLA, 2025

*Los caudales máximos se pueden modelar en condición permanente o constante, sin embargo, también se puede simular en condición de flujo no permanente incluyendo cómo condición de contorno el hidrograma de creciente.

Fuente: ANLA, 2023

La Tabla 7-7 la naturaleza de las condiciones de contorno típicas. Algunos programas no exponen "Dirichlet o Neumann" al usuario y simplemente ofrecen "imponer caudal", "imponer nivel", "curva $H-Q$ " o "flujo libre". En la memoria técnica se debe nombrar la opción

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

empleada por el software y, entre paréntesis, su interpretación (nivel impuesto, flujo impuesto o relación).

Tabla 7-7. Naturaleza de Condiciones de contorno típicas

VARIABLE IMPUESTA	UBICACIÓN	NATURALEZA (IMPLEMENTACIÓN TÍPICA)	EL MODELO CALCULA...
Hidrograma de caudal Q(t)	Entrada	Flujo impuesto (usualmente equivalente a condición Neumann en formulación conservativa)	Nivel/profundidad H(t) y velocidades en la sección
Serie de nivel H(t) o tirante	Entrada	Nivel impuesto (Dirichlet)	Caudal de entrada Q(t) consistente
Nivel H(t), tirante normal o cota control	Salida	Nivel impuesto (Dirichlet) o condición de energía/pendiente	Caudal de salida Q(t)
Curva H-Q (sección de control)	Salida	Relación impuesta (Dirichlet sobre la relación)	Variable complementaria según H-Q
Flujo saliente libre / gradiente nulo	Salida	Flujo libre (Neumann: $\partial H/\partial n \approx 0$)	Nivel/caudal compatibles con la solución

Fuente: ANLA, 2025

Las series Q(t) deben provenir de medición con control de calidad o de la modelación hidrológica (7.5.1), con unidades, resolución y sincronización compatibles con el solver; se debe describir el método de construcción del hidrograma (ajustes, agregaciones, correcciones de sesgo) y su incertidumbre. Para rotura de presa, se debe anexar la metodología y los parámetros de brecha y operación. La elección del régimen (permanente/no permanente), los escenarios y las condiciones de contorno se deben justificar con base en el objetivo, el riesgo y los requerimientos del licenciamiento; toda decisión debe dejar trazabilidad.

7.5.2.2.2 Nivel

Cuando la condición de contorno se define como nivel o tirante de la lámina libre H(t), puede imponerse como constante (régimen permanente) o variable en el tiempo (régimen no permanente), tanto en entrada como en salida del dominio, según el objetivo del estudio. En licenciamiento se deben simular, como mínimo, niveles característicos (mínimo, medio, máximo y ambiental) y, cuando el análisis lo requiera, series históricas de nivel o hidrogramas de nivel coherentes con la hidrología y la operación aguas arriba/abajo. Es obligatorio documentar el origen de los datos (estaciones limnimétricas/limnigráficas, reconstrucciones, modelos externos), el datum y referencia vertical, la incertidumbre y cualquier ajuste aplicado (correcciones de sensor, sincronización temporal con Q(t)).


El uso de no flujo no permanente (unsteady) es recomendado cuando existan forzantes aguas abajo que varían en el tiempo y condicionan la línea de agua (p. ej., marea en estuarios, operación de embalses o derivaciones, ondas de remanso por confluencias u obras, set-up por viento en cuerpos lénticos, crecidas con histéresis en curvas H-Q). El flujo permanente (FGV) es aceptable para comparar perfiles estáticos de nivel en cauces confinados sin desbordes ni transitorios relevantes, cuando solo se requiere un estado representativo para un Q dado. En cuerpos lénticos (embalses/lagunas), si el viento controla la circulación superficial, debe ingresarse una serie U(t), dirección y fetch coherentes con el periodo de simulación; de lo contrario, los niveles y campos de velocidad resultarán sesgados.

Cuando se impone nivel en la entrada (poco habitual en ríos, más común en dominios costeros o estuarios), el modelo debe diagnosticar el caudal consistente con ese nivel y con el resto de las forzantes; en salida, es frecuente imponer nivel mediante serie H(t), tirante normal, pendiente de energía o curva H-Q de una sección de control. Si no existe información confiable aguas abajo, puede emplearse una condición de flujo libre (gradiente nulo en el borde), explicitando la hipótesis y su impacto en resultados. En eventos de crecida, las curvas H-Q pueden presentar histéresis; debe indicarse su validez (rango, periodo y condiciones hidromorfológicas). La Tabla 7-8 presenta el régimen temporal recomendado según el nivel a imponer.

Tabla 7-8. Régimen temporal recomendado según el nivel a imponer

CONDICIÓN DE CONTORNO	PERMANENTE	NO PERMANENTE
Nivel mínimo	X	
Nivel medio	X	
Nivel máximo*	X	X
Nivel ambiental	X	
Serie de tiempo nivel medio diario	X	X

*Los niveles máximos se pueden modelar en condición permanente o constante, sin embargo, también se puede simular en condición de flujo no permanente incluyendo cómo condición de contorno el hidrograma de creciente.

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

**Para avenidas, marea, operación variable o set-up por viento, se debe usar no permanente con la serie H(t) correspondiente.

Fuente: ANLA, 2023

Una vez elegido el régimen, es necesario precisar cómo se implementa el contorno en el modelo: si se impone nivel directamente (Dirichlet), si se usa una curva H-Q de control, un tirante normal o pendiente de energía o una condición de flujo libre (Neumann). La Tabla 7-7 presenta las combinaciones típicas de variable impuesta, ubicación y naturaleza de la condición, e indica qué calcula el modelo en cada caso.

Tabla 7-9. Profundidad de entrada tipo Dirichlet permanente o no permanente

VARIABLE IMPUESTA	UBICACIÓN	NATURALEZA (IMPLEMENTACIÓN TÍPICA)	EL MODELO CALCULA...
Serie de nivel H(t) / cota de la lámina libre	Entrada/Salida	Nivel impuesto (Dirichlet)	Caudal coherente Q(t) y campos de velocidad
Tirante normal / pendiente de energía	Salida	Nivel/gradiente impuesto (Dirichlet sobre energía)	Caudal de salida Q(t)
Curva H-Q (sección de control)	Salida	Relación impuesta (Dirichlet sobre H-Q)	Variable complementaria según la curva
Flujo libre (gradiente nulo)	Salida	Neumann ($\partial H/\partial n \approx 0$)	Nivel/caudal compatibles
Nivel mareal (serie armónica o registrada)	Entrada/Salida	Dirichlet (serie H(t))	Caudal/velocidades consistentes con la marea

Fuente: ANLA, 2023

7.5.2.3 Condición inicial

La condición inicial define el estado del sistema (niveles, velocidades y, cuando corresponda, volúmenes en humedales y embalses) en el instante cero de la simulación. Debe ser físicamente consistente con la geometría, con las condiciones de contorno adoptadas y con el periodo de análisis, y construirse mediante un procedimiento reproducible. La prioridad es utilizar observación directa del día de arranque; cuando no exista, en 1D es válido generar un perfil de línea de agua coherente con un caudal representativo del inicio calculado en flujo gradualmente variado. En 2D/3D se requiere un campo espacial de niveles y, si aplica, de velocidades, que respete la conectividad entre cauce y planicie, sin saltos debidos a desalineaciones de datum.

Si no hay medición reciente, la condición inicial puede derivarse de promedios representativos de corto plazo (por ejemplo, el promedio de 7 a 30 días previos de nivel o caudal en estaciones de control) o, en su defecto, de climatologías estacionales (promedios o percentiles mensuales construidos con varios años previos, al menos 3-5). En todos los casos se debe comprobar la coherencia entre ese estado inicial y la condición de contorno con la que arrancará la simulación: no resulta adecuado imponer un nivel medio si el primer forzante es una avenida, ni un nivel alto si el arranque corresponde a caudales de estiaje. Para dominios con influencia mareal o con operación de embalses, la condición inicial debe alinearse con la fase de marea y/o con el programa operativo del primer día simulado (niveles, vertimientos, compuertas), a fin de evitar transitorios numéricos que no representan el comportamiento real.


Varios programas no aceptan celdas o secciones “completamente secas” en zonas que, por su morfología, se humedecen al comenzar la simulación. En estos casos es necesario imponer un tirante mínimo numérico en el cauce y depresiones conectadas, o activar el esquema de humectación-secado del software con parámetros conservadores. Luego, debe verificarse que ese tirante mínimo no distorsione la extensión de inundación ni los gradientes locales al avanzar el calentamiento. Cuando el objetivo sea simular extremos, como sequías severas o crecientes, el estado de arranque debe ser coherente con el antecedente hidrológico: niveles bajos asociados a percentiles inferiores para sequías, o niveles altos previos al evento para crecientes, explicando el criterio estadístico utilizado (percentil, periodo de retorno, ventana temporal).

En ausencia de observación confiable, una alternativa es realizar una corrida de pre-estabilización en permanente o en no permanente con forzantes de arranque representativos hasta alcanzar un régimen estable. La estabilización se demuestra mostrando que la variación de niveles entre pasos o días consecutivos en puntos de control es menor a un umbral definido (por ejemplo, 1-2 cm) y que los caudales no cambian más allá de un porcentaje pequeño (por ejemplo, 5 %). La memoria técnica debe dejar la trazabilidad completa: fuente y fecha de los datos, datum vertical, método elegido (perfil en FGV, promedio de 7-30 días, climatología mensual o corrida de pre-estabilización), parámetros aplicados para el manejo de celdas secas y húmedas y las gráficas de estabilización que evidencian que el estado inicial es consistente con el sistema y con los forzantes que se aplicarán a continuación.

7.5.2.4 Calentamiento del modelo

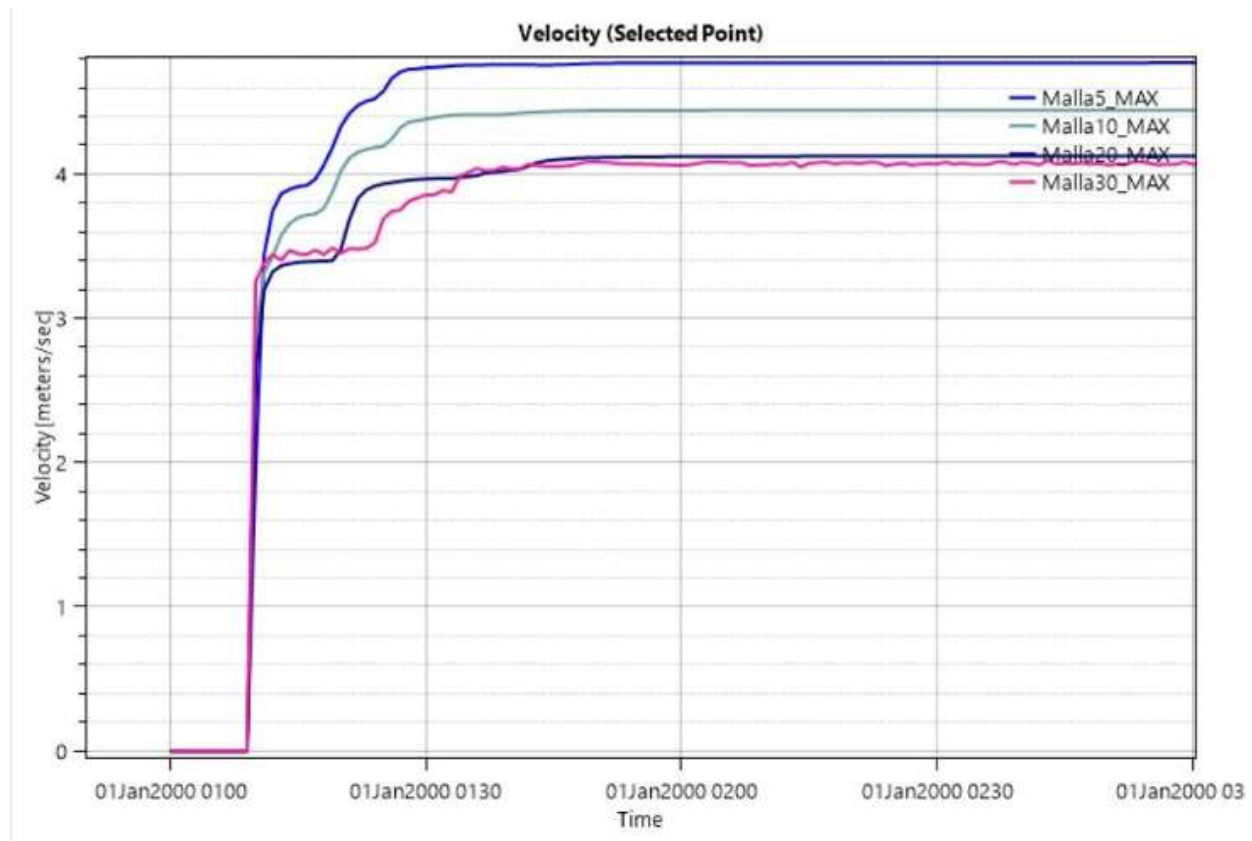
Antes de aplicar los forzantes de interés, se debe ejecutar un periodo de calentamiento para que el modelo elimine dependencias del estado inicial y alcance un régimen estable y coherente con las condiciones de frontera. En no permanente, el warm-up debe continuar hasta que indicadores cambien menos que un umbral definido (p. ej., variación <1-2 cm en niveles y <5 % en caudal entre días consecutivos en puntos de control). Como referencia práctica, en cauces 1D con poca influencia de almacenamiento, uno a varios días pueden ser suficientes; en dominios 2D con planicie activa, semanas; y con embalses/humedales relevantes, semanas a meses, según su tiempo de residencia.

En permanente o cuasiestacionario, el “calentamiento” se entiende como prolongar la simulación hasta el estado estacionario, verificando que velocidades y tirantes no cambien con el tiempo (comportamiento asintótico). No se recomienda usar un número fijo de pasos sin verificación; el criterio debe ser basado en convergencia e insensibilidad de salidas a extender el warm-up.

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFIJAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Toda decisión de warm-up se debe documentar con: periodo utilizado, puntos o áreas evaluadas, gráficas de estabilización y el umbral de insensibilidad aplicado. Como referencia la Figura 7-6 muestra la evolución temporal de la velocidad en un punto de control durante el calentamiento para cuatro resoluciones espaciales (Malla5, Malla10, Malla20 y Malla30). Se observa un transitorio inicial seguido de una meseta donde las curvas se estabilizan. El fin del warm-up se define cuando la variación entre pasos consecutivos es menor al umbral adoptado (p. ej., <1-2 cm en nivel o <5 % en velocidad/caudal) y cuando las diferencias entre mallas se vuelven insignificantes en ese punto y en los demás sitios de control. Esta verificación conjunta (estabilización + insensibilidad al refinamiento) sustenta la longitud elegida del calentamiento y la robustez numérica del montaje; la memoria deja constancia del criterio usado, del CFL/Δt aplicado y de los resultados en todos los puntos evaluados.

Figura 7-6. Representación cuando un modelo alcanza el estado estacionario



Fuente: ANLA, 2025

7.5.2.5 Tipos de malla

La malla computacional es la representación discreta del dominio sobre la cual se resuelven las ecuaciones. Su diseño depende de la dimensionalidad elegida:

- 1D (unidimensional): el cauce se representa por eje hidráulico y secciones transversales (levantadas con batimetría/topografía); no hay “malla”, pero sí una discretización longitudinal (distancia entre secciones) que debe refinarse en curvaturas, confluencias, obras y cambios de pendiente. Es obligatorio verificar coherencia geométrica y representar estructuras (puentes, vertederos, compuertas) con sus parámetros.
- 2D (bidimensional en planta): se emplean mallas no estructuradas (triángulos/cuadriláteros/mixtas) o estructuradas/curvilíneas. la resolución debe ser menor que el ancho del cauce principal para capturarlo y permitir expansión a planicies; se recomiendan gradientes de tamaño suaves (crecimiento entre elementos $\leq 20-30\%$). (Kajishima & Taira, 2016). Incorporar breaklines sobre taludes, diques, bordes de cauce, vías y estructuras para evitar “cortes” no físicos. Controlar calidad (aspect ratio, skewness, ángulos internos cercanos a 60° en triángulos) y alinear la malla con la morfología y los flujos preferentes. (Kajishima & Taira, 2016).
- 3D o 2D multicapa (estratificación): además del plano, se definen capas sigma o z para resolver gradientes verticales (temperatura, salinidad). Requiere batimetría consistente, parametrización de turbulencia y condiciones de viento/densidad; el costo computacional es alto, por lo que debe estar justificado en 7.4.

la Figura 7-7 presenta los tipos de mallados que normalmente se emplean para la configuración de modelos bidimensionales a) estructurados, b) Curvilíneos y c) No estructurados.


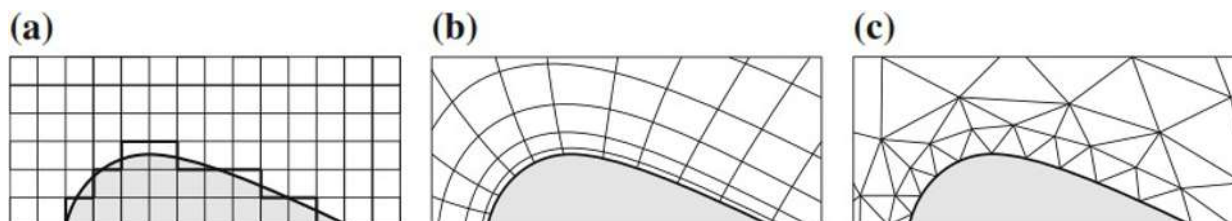
 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Figura 7-7. Tipos de malla para modelación bidimensional



Fuente: (Kajishima & Taira, 2016)

7.5.2.6 Prueba de independencia de malla

La prueba de independencia de malla verifica que los resultados del modelo no dependan artificialmente del refinamiento espacial, y permite elegir un tamaño de celda que sea suficiente para el objetivo del estudio con un costo computacional razonable. Para ello se construye una familia de mallas coherentes con 7.5.2.5 (misma geometría, contornos y opciones numéricas), variando únicamente la resolución espacial desde una malla gruesa hasta una o más finas. En cada malla se ejecuta la(s) simulación(es) objetivo manteniendo, en lo posible, el mismo criterio de estabilidad temporal (p. ej., CFL objetivo con ajuste automático de Δt), de modo que los cambios observados se deban al tamaño de celda y no al paso de tiempo.

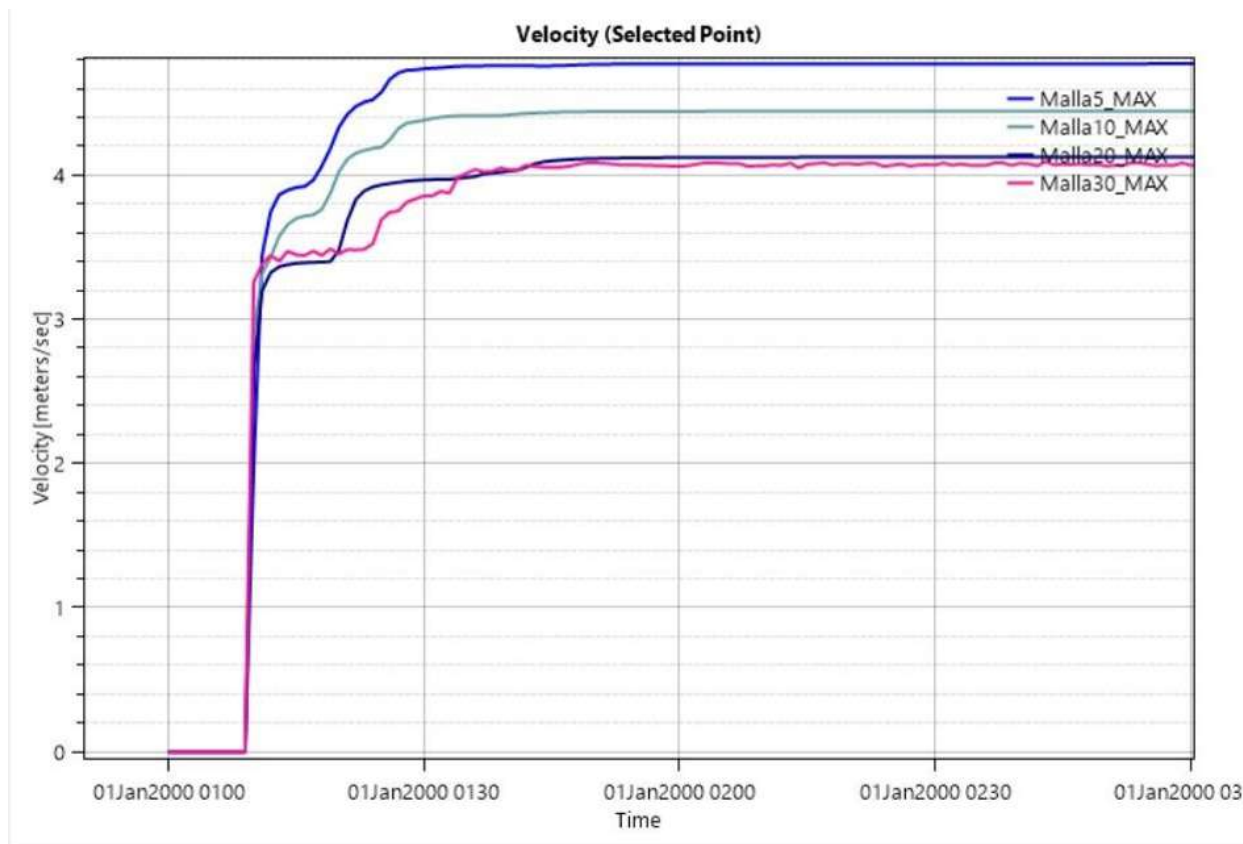
La prueba debe considerar además criterios geométricos y locales: (i) densidad de malla suficiente en zonas hidráulicamente relevantes (condiciones de contorno, cauce principal, confluencias, estructuras, cambios bruscos de sección y planicie activa), (ii) relación de aspecto adecuada y ortogonalidad aceptable para minimizar difusión/dispersión numéricas, y (iii) transiciones suaves de tamaño entre celdas adyacentes (crecimientos típicos $\leq 20-30\%$) para evitar reflexiones y errores de interpolación. Cuando se disponga de capacidades de refinamiento adaptativo o malla localmente refinada, se documenta el criterio de activación (gradientes de H, Froude, residuales) y se repite la verificación comparando contra una malla fina uniforme equivalente. En esquemas 1D, la independencia se evalúa con la densidad de secciones (espaciamento entre transectos y discretización de taludes), verificando que perfiles $H(x)$, $Q(x)$ y pérdidas localizadas no cambien significativamente al aumentar el número de secciones.

El informe de la prueba incluye: descripción de las mallas (número de elementos, tamaños característicos, estadísticas de calidad), tabla comparativa de indicadores por malla, gráficas de convergencia y mapas de diferencias (profundidad/velocidad) entre mallas consecutivas, así como la justificación del tamaño seleccionado (la malla más gruesa que cumple los umbrales definidos). Se deja trazabilidad de archivos de geometría, condiciones, versiones de software y scripts utilizados, y se declara el rango de validez de la independencia (eventos/escenarios para los que fue verificada).

La Figura 7-8 presenta un ejemplo de verificación de independencia de malla: en este ejemplo se comparó la evolución temporal de la velocidad en un punto de control con cuatro refinamientos de una malla estructurada (5m, 10m, 20m y 30m). Tras un transitorio inicial, las series alcanzan un régimen cuasiestacionario; desde la 01:20 am aproximadamente, La Malla20 y la Malla30 convergen al mismo valor asintótico, mientras que Malla5 y Malla10 solo difieren levemente por efecto del mayor refinamiento. En consecuencia, para el objetivo del estudio, La Malla20 es el tamaño mínimo que reproduce la métrica con precisión equivalente a la malla más fina. No se adopta Malla10 ni Malla5 porque no aportan mejoras significativas en la métrica ($< 2-5\%$ respecto a Malla20) y sí incrementan de manera marcada el costo computacional y las restricciones de estabilidad (el criterio CFL obliga a pasos de tiempo menores a medida que disminuye Δx); además, refinar por debajo de 20 m superaría la resolución efectiva de la topografía disponible, sin añadir información física real y con mayor riesgo de ruido numérico. Solo se justificaría un refinamiento adicional de forma local en zonas con estructuras o geometrías pequeñas que condicionen los resultados. El tiempo de calentamiento adoptado cubre el transitorio hasta la estabilización de la variable (véase 7.5.2.4), asegurando que la comparación entre mallas se realice en condiciones representativas del régimen objetivo.

En este ejercicio se trata de una modelación regional, cuyo objetivo es capturar tendencias espaciales y métricas integradas del sistema (no el detalle local de obras o secciones). Por ello la topo-batimetría disponible (DEM y secciones) tiene una resolución coherente con ese alcance y, en consecuencia, la malla adoptada no excede la resolución efectiva de dichos insumos. Esto no implica que un DEM "pobre" justifique una malla deficiente: en cada proyecto, la resolución geométrica y de malla debe responder al objetivo. Si el objetivo incluye evaluar estructuras, tirantes cerca de puentes, desbordes puntuales o micro-canales, se exige demanda de datos más finos (levantamientos topo-batimétricos detallados) y un refinamiento local de malla acorde. Como regla práctica, no se debe mallar por debajo de la resolución fiable del DEM/secciones ni por encima del nivel de detalle que el objetivo no requiere; el refinamiento se concentra donde la física lo controla (bordes, estructuras, curvaturas, confluencias) y se documenta su justificación técnica.

Figura 7-8. Representación cuando un modelo alcanza el estado estacionario



Fuente: ANLA, 2025

7.5.2.7 Estabilidad numérica

La estabilidad numérica es condición necesaria, aunque no suficiente, para obtener resultados físicamente plausibles. En modelos 1D y 2D que resuelven Saint-Venant (aguas someras), el primer control es el número de Courant-Friedrichs-Lewy CFL, en 1D (en 2D se evalúa por direcciones características). Con esquemas explícitos, se exige típicamente $CFL \leq 1$ (o algo menor según el esquema y sus limitadores de pendiente); de lo contrario aparecen oscilaciones y fallas numéricas. Con esquemas implícitos (p. ej., Preissmann, Crank-Nicolson), el CFL no limita formalmente la estabilidad, pero pasos de tiempo Δt muy grandes deterioran la exactitud y la convergencia del solucionador; en la práctica se elige Δt de modo que el avance de la onda por paso no atraviese demasiadas celdas y se verifica sensibilidad temporal (Fletcher, 2012).


La elección del esquema numérico debe ser coherente con el objetivo y la dinámica. Los explícitos (volúmenes finitos tipo Godunov/Riemann con limitadores) son eficientes para avenidas, frentes de inundación y procesos de mojado-secado, a costa de Δt pequeño controlado por CFL. Los implícitos permiten Δt mayores y son convenientes en regímenes cuasi permanentes, redes extensas o cuando se acopla la hidráulica con operación de estructuras, pero requieren criterios claros de convergencia (residuales absolutos/relativos, máximo de iteraciones por paso) y buen precondicionamiento. Si el software ofrece control semiimplícito o adaptativo del paso de tiempo, se recomienda activarlo con límites inferior/superior y CFL objetivo, registrando su evolución.

La discretización espacial influye directamente en la estabilidad y precisión. En 2D se prefieren celdas con buena ortogonalidad, relación de aspecto cercana a 1 y transiciones graduales de tamaño (variaciones de 20-30 % entre zonas contiguas); mallas con ángulos muy agudos/obtusos o cambios bruscos inducen dispersión y ruido. El refinamiento debe concentrarse donde gobierna la física (ejes de cauce, estructuras hidráulicas, entradas/salidas, zonas de desborde), evitando refinar por debajo de la resolución efectiva del DEM o batimetría. Para las fuentes (pendiente del fondo y fricción), se recomiendan esquemas balanceados que mantengan el equilibrio reposo-sobre-pendiente y prevengan corrientes espurias.

Las condiciones de frontera e iniciales mal definidas son una causa frecuente de inestabilidad. En la entrada con caudal impuesto (Dirichlet en Q), este debe ser coherente con tirantes/pendientes locales; en la salida con nivel impuesto (Dirichlet en H) se evitan series con saltos no físicos o fuera de fase con el tránsito. Si se usa curva de gasto como contorno aguas abajo, se debe verificar su rango de validez y monotonicidad.

En mojado-secado, los parámetros (tirante mínimo, tolerancias de mojado, umbrales de velocidad) se ajustan para asegurar positividad del tirante, minimizar oscilaciones y garantizar continuidad del frente; no se permiten celdas con tirantes negativos.

El tratamiento de viscosidad/ difusividad efectiva y el cierre de turbulencia impactan la estabilidad. Difusividad numérica insuficiente en explícitos genera oscilaciones; un exceso suaviza indebidamente picos y frentes. En 2D, la rugosidad de Manning y las viscosidades

	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

turbulentas deben mantenerse en rangos físicos; si se activa un modelo de turbulencia (p. ej., tipo Smagorinsky), se documentan sus coeficientes y efecto en la disipación. En implícitos, combinaciones de viscosidad muy baja con mallas muy finas pueden dificultar la convergencia; cualquier amortiguamiento adicional debe justificarse.

Dada la no linealidad de los términos inerciales, se controlan los residuales de continuidad (masa) y cantidad de movimiento por paso de tiempo. Se fija un criterio de convergencia (p. ej., residuales $< 10^{-6}$ o cambios relativos $< 10^{-3}$ y un máximo de iteraciones; si no converge, el protocolo usual es reducir Δt , incrementar ligeramente la difusividad/viscosidad, revisar contornos y examinar la malla en la zona problemática.

Además del CFL, se aplican verificaciones complementarias: (i) balance de masa (entradas + lluvia – salidas – evaporación – almacenamiento ≈ 0 dentro de una tolerancia definida); (ii) estabilidad de energía (sin ganancias no físicas); (iii) sensibilidad al paso temporal (repetir con $\Delta t/2$); y (iv) independencia de malla (ver 7.5.2.6).

En ríos con pendientes fuertes o transiciones rápidas, se debe revisar la correcta captura de regímenes subcrítico o supercrítico y de discontinuidades (ondas de choque/saltos hidráulicos) empleando limitadores adecuados.

Se debe documentar como mínimo, el esquema numérico (explícito/implícito/semiimplícito), formulación de advección/disipación y limitadores, parámetros de turbulencia/viscosidad, umbrales de mojado-secado, valores objetivo de CFL y rango de Δt , tolerancias de convergencia, y resultados de balances y sensibilidades. La estabilidad se considera aceptable cuando se cumple simultáneamente: (a) CFL controlado, (b) convergencia por paso dentro de tolerancias, (c) balance de masa cerrado, y (d) robustez frente a variaciones razonables de Δt , malla y contornos, sin artefactos numéricos en zonas críticas.

7.6 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

Este capítulo establece cómo ajustar y verificar el modelo seleccionado (7.4) y configurado (7.5) frente a observaciones independientes y con criterios explícitos. La calibración consiste en estimar parámetros dentro de rangos físicamente plausibles para reproducir los procesos y variables definidos en el modelo conceptual (7.3); la validación comprueba ese desempeño en periodos no usados en el ajuste, garantizando representación de condiciones húmedas, normales y secas (véase 7.2). Se describen los insumos mínimos, la estrategia (por etapas, multisitio y/o multiobjetivo), los controles de parsimonia e identificabilidad, y las evidencias que deben anexarse. El resultado de esta sección es un modelo con desempeño cuantificado, trazable y acorde con el objetivo del estudio, listo para la evaluación de incertidumbre (7.7) y la simulación de escenarios (7.8).

7.6.1 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste documentan, con métricas cuantitativas y criterios de aceptación previamente definidos, qué tan bien el modelo reproduce los datos observados. Según el objetivo y la escala temporal, se emplean indicadores de concordancia y error tales como Nash-Sutcliffe (NSE), Kling-Gupta (KGE), sesgo porcentual (PBIAS), error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE) y coeficiente de determinación (R^2); en hidrodinámica se incluyen errores medios en nivel/tirante y velocidad, desviaciones en perfiles y tiempo al pico. Para extremos se reportan métricas por evento (picos, volúmenes, tiempos de llegada) y, cuando aplique, índices de desempeño espacial (acierto en extensión/profundidad de inundación). Las métricas deben presentarse por punto de control y periodo (calibración y validación), con sus umbrales de aceptación, intervalos de confianza y un análisis sintético de fortalezas y sesgos residuales, dejando trazabilidad de los cálculos (scripts, versiones y datos usados).

7.6.1.1 Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación hace referencia a la relación que existe entre dos o más variables cuantitativas midiendo el grado de asociación o dependencia entre estas. En la Tabla 7-10 se presenta el rango de clasificación para el coeficiente de correlación desde malo hasta perfecto.

Tabla 7-10 Clasificación del coeficiente de correlación

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
$R < 0,5$	Malo
$0,5 < R < 0,6$	Regular
$0,6 < R < 0,7$	Bueno
$0,7 < R < 1,0$	Excelente
$R = 1,0$	Perfecto

Fuente: (Martínez, 2012)

7.6.1.2 Nash-Sutcliffe

El criterio de Nash-Sutcliffe mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, $E=1$; si se intenta ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces $E=0$.


	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tabla 7-11 Clasificación del criterio Nash-Sutcliffe

NASH-SUTCLIFFE	
< 0,2	Insuficiente
0,2 - 0,4	Satisfactorio
0,4 - 0,5	Bueno
0,5 - 0,7	Muy bueno
> 0,7	Excelente

Fuente: (Cabrera, 2012)

7.6.1.3 Error medio cuadrático (RMSE)

La raíz del error cuadrático medio permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados. El rango de valores que puede tomar va desde 0 hasta el infinito (positivo). El 0 corresponde a un ajuste perfecto mientras que valores más grandes indican un menor ajuste (Cabrera, 2012)

7.6.1.4 Eficiencia de Kling-Gupta

La eficiencia Kling-Gupta proporciona un indicador para los problemas de modelamiento hidrológico, que facilita un análisis global basado en diferentes componentes como: correlación, bias y variabilidad. El valor de KGE' varía de 0.0 a 1.0, siendo 1.0 la mejor representación del modelo (Duan et al., 2003)

7.6.2 Calibración

La calibración consiste en ajustar los parámetros del modelo para reproducir, con exactitud aceptable, las observaciones dentro del dominio y el objetivo definidos. En hidrología, la calibración se realiza sobre series de caudal en puntos de control ubicados en el cauce principal, y, cuando exista red suficiente, también en afluentes o estaciones internas de la cuenca (esto es, dentro de la cuenca y su red de drenaje, no solo en la salida). Cuando se disponga, se pueden incluir como variables de contraste niveles, ETR estimada y huellas de eventos relevantes. En hidrodinámica, la calibración se apoya en series de nivel, velocidad y/o caudal, perfiles longitudinales y, para dominios 2D, extensión y profundidad de la inundación.

Siempre deben reportarse, para cada sitio y variable, gráficos de parámetros observados vs. simulados: hidrogramas, diagramas Obs-Sim (dispersión), perfiles, mapas comparativos (2D) y análisis de residuales. Se deben incluir de manera obligatoria funciones objetivo, según aplique, NSE (Nash-Sutcliffe), KGE, RMSE, MAE, sesgo o PBIAS y error de tiempo a pico; en dominios 2D, además de los errores de nivel o velocidad, se debe incluir una métrica de solape espacial de la mancha de inundación, preferiblemente IoU (Intersection over Union, también llamado índice de Jaccard), definida como el área de intersección entre la mancha simulada y la observada dividida por el área de su unión (valor entre 0 y 1). Se debe indicar expresamente qué variables se usaron para calibración y cuáles quedan como verificación independiente, para asegurar trazabilidad y evitar sobreajuste.


Los parámetros a calibrar en hidrología abarcan, según el esquema, pérdidas e infiltración (SCS-CN, Green-Ampt, Horton), intercepción, almacenamientos y transferencia en el suelo, flujo base (número de reservorios y constantes de recesión) y tránsito de crecientes en ladera/red (p. ej., Muskingum/Muskingum-Cunge, onda cinemática/difusiva). En hidrodinámica, además de la rugosidad de Manning (distinguiendo cauce y planicies), es frecuente calibrar coeficientes de pérdida local en estructuras (contracción/expansión, coeficientes en puentes, estribos/pilas, vertederos y orificios), así como viscosidad/ difusividad efectivas o parámetros del cierre de turbulencia en 2D/3D. Es importante mencionar de que el coeficiente de Manning es uno de los parámetros más utilizados, pero no el único; la práctica responsable calibra, cuando corresponde, los demás coeficientes hidráulicos y numéricos que afectan niveles, velocidades y tiempos de tránsito.

Para evitar equifinalidad y sobreajuste, la calibración debe respetar rangos físicamente plausibles sustentados en literatura, cartografía temática y levantamientos de campo. Se recomienda incorporar una tabla de parámetros donde se consignen, para cada parámetro, valor por defecto o de literatura (fuente citada), cotas, valor calibrado, sensibilidad y comentarios. El periodo de calibración debe abarcar el 60-70% del tramo elegible con warm-up acorde con la memoria del sistema (véanse 7.2 y 7.5), e incluirá años con contraste hidrológico (secos/medios/húmedos). La entrega debe incluir archivos de control, scripts y registro de cambios que permitan reproducibilidad.

7.6.3 Validación

La validación verifica que el modelo, sin re-ajustar los parámetros calibrados, mantiene un desempeño satisfactorio en un periodo independiente y consistente con el objetivo de uso. En hidrología, el tramo de validación cubrirá el 30-40 % restante. En hidrodinámica, la validación debe contrastar niveles, velocidades, caudales y, en 2D, mapas de inundación para eventos o regímenes no utilizados en la calibración (otra creciente, otra lámina base, distinta marea o viento).

Al igual que en la calibración, es obligatorio presentar gráficos de valores Obs vs. Sim y reportar las mismas métricas usadas en la calibración. Se debe declarar explícitamente qué variables se emplean para validar y discutir cualquier degradación de desempeño entre calibración y validación a la luz de la incertidumbre de datos, cambios geomorfológicos/operativos no representados y limitaciones del esquema. No se permite ajustar parámetros en esta etapa; cualquier modificación implicaría re-iniciar el ciclo de

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

calibración y validación.

7.6.4 Otras consideraciones

Cuando no se disponga de series suficientes de aforos de caudal o niveles para una calibración y validación, completa, podrán emplearse metodologías indirectas únicamente si existe una justificación técnica válida para no usar información primaria, y siempre dejando explícita la incertidumbre adicional. En hidrología, se pueden usar curvas de recesión para acotar constantes del flujo base, contrastes multisitio con estaciones vecinas y valores de literatura (p. ej., rangos de CN por cobertura/suelo) como valores por defecto que luego se confrontan en la calibración; en todos los casos se debe presentar una tabla comparativa de valores de literatura vs. valores calibrados, con su fuente y rango plausible. En hidrodinámica, además de iniciar con valores de Manning derivados de métodos indirectos (p. ej., Cowan), es válido utilizar huellas de inundación en imágenes satelitales (Landsat, Sentinel), aerofotos u observación de campo para contrastar extensión y niveles; igualmente, pueden emplearse secciones de banco lleno (formativas) asociadas a caudales de periodo de retorno típico entre 1,07 y 4 años como referencia geomorfológica. Debe aclararse que estas aproximaciones no sustituyen a la información primaria y solo complementan o habilitan el análisis cuando esta sea insuficiente o inaccesible, debidamente justificado. Finalmente, en hidrodinámica se debe documentar el ajuste no solo de la rugosidad, sino también, cuando aplique, de coeficientes locales de pérdida por contracción/expansión, coeficientes de descarga en vertederos/orificios y parámetros de turbulencia/viscosidad numérica, velando por la conservación de masa y la convergencia del esquema numérico (véase 7.5.2.7). En todos los casos, los entregables incluirán: gráficos Obs vs. Sim, métricas por sitio y variable, tablas de parámetros (literatura vs. calibrados), y la evidencia de reproducibilidad (scripts y versiones), conforme a los lineamientos de trazabilidad de esta guía.

7.7 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO E INCERTIDUMBRE

La evaluación del desempeño verifica, con datos observados independientes y criterios explícitos, que el modelo reproduce con suficiencia los procesos y variables definidos en el modelo conceptual (7.3) y en la selección técnica (7.4). Debe aplicarse en dos etapas: calibración (ajuste de parámetros con un tramo del registro) y validación (verificación en tramos no usados en el ajuste), manteniendo periodos no superpuestos y representativos climática e hidrológicamente (véase 7.2). En hidrología se contrasta, como mínimo, caudales medios, volúmenes, picos y tiempos de ocurrencia en los puntos de control; en hidrodinámica, niveles/tirantes, velocidades y, cuando aplique, extensión/profundidad de inundación y tiempos de tránsito. La comparación se reporta con métricas de error y de concordancia, tales como Nash-Sutcliffe (NSE), Kling-Gupta (KGE), sesgo (PBIAS), error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE) y error en el tiempo al pico; en hidráulica se añaden errores medios en nivel/velocidad y desviaciones de perfiles y curvas gasto-nivel. Los umbrales de aceptación se establecen a la luz del objetivo del estudio, la escala temporal, la calidad de datos y los estándares sectoriales, y deben documentarse en el plan de evaluación previo al ajuste.

El análisis de sensibilidad antecede y acompaña la calibración para identificar parámetros influyentes, rangos plausibles y posibles problemas de identificabilidad. Pueden emplearse métodos acordes con el nivel de complejidad del modelo. La calibración debe seguir una estrategia reproducible (por ejemplo, búsqueda multiobjetivo o por etapas) y preferiblemente automatizada cuando el número de parámetros lo amerite (p. ej., PEST, DREAM u optimizadores equivalentes), dejando constancia de función(es) objetivo, límites, semillas aleatorias y criterios de parada. En montajes multisitio/multivariable, las funciones objetivo deben equilibrar volumen, forma del hidrograma y tiempos, o bien usar funciones compuestas (p. ej., KGE) que penalicen simultáneamente correlación, sesgo y varianza.

La incertidumbre se evalúa de manera explícita y separando, cuando sea posible, sus principales componentes: incertidumbre de entrada (datos climáticos, caudales/niveles de frontera, batimetría/topografía), de parámetros (valores calibrados), estructural (simplificaciones y ecuaciones elegidas) y de condiciones iniciales. Son aceptables enfoques basados en muestreo y verosimilitud (Monte Carlo, GLUE), inferencia Bayesiana, o aproximaciones por ensambles de forzantes/modelos.

El resultado debe expresarse como bandas o intervalos de predicción para series temporales, mapas con niveles de confianza para variables espaciales (profundidad/velocidad), y rangos para indicadores (p. ej., tirante máximo, tiempo de llegada, área inundada). En todos los casos se reportan supuestos, rangos explorados, tamaño de la muestra y diagnóstico de convergencia, así como la propagación de incertidumbre entre Hidrología e Hidrodinámica cuando exista acople.

La validación cruzada fortalece la evidencia del desempeño: se recomienda split-sample por bloques climáticos (húmedo/normal/seco), validación por eventos (avenidas/sequías) y, si la longitud del registro lo permite, k-fold temporal. Cuando no existan series densas para niveles/velocidades, pueden usarse huellas de agua en imágenes satelitales o marcas de inundación con fecha conocida, explicando su precisión y sesgos. Finalmente, la sección debe concluir con una declaración de idoneidad para el uso: qué preguntas responde el modelo, bajo qué supuestos y con qué nivel de confianza, y qué limitaciones deben considerarse en la toma de decisiones.

7.8 ESCENARIOS, IMPACTOS Y MEDIDAS DE MANEJO

La formulación de escenarios traduce el objetivo del estudio en simulaciones comparables que permitan estimar cambios atribuibles al proyecto y sustentar medidas de manejo. Como mínimo se plantean: línea base (condiciones actuales), sin proyecto (tendencia sin la intervención), con proyecto o medida evaluada y, cuando corresponda, variabilidad/cambio climático y eventos extremos (máximos y mínimos) coherentes con la caracterización hidrológica (7.2) y el modelo conceptual (7.3). Cada escenario debe dejar explícito supuestos, horizontes, condiciones de frontera e iniciales, reglas de operación (si hay embalses/derivaciones), y fuentes de información. En acoples H-Hd, los hidrogramas laterales por subcuenca y los cambios en captaciones/retornos se deben transferir al dominio hidráulico respetando unidades, paso temporal y cierres de volumen.

Los impactos se deben evaluar por comparación "con vs. sin" sobre indicadores hidrológicos e hidráulicos pertinentes: en hidrología, cambios en caudales medios/estacionales, percentiles (Q95, Q50, Q10), picos y volúmenes de avenidas, duración y frecuencia de bajos caudales, y balances; en hidrodinámica, variaciones en niveles/tirantes y velocidades, extensión y profundidad de inundación, tiempos de llegada, número de Froude y afectación de márgenes, infraestructuras o áreas sensibles. Para caudal ambiental, se reporta el indicador adoptado, su sustento técnico y los cambios bajo operación propuesta. Los resultados se presentan como series, mapas,

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIA DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

perfiles y tablas de diferencias absolutas y relativas, acompañados de incertidumbre (bandas/intervalos y/o mapas de probabilidad de excedencia) consistente con el numeral 7.7.

Las medidas de manejo deben seguir la jerarquía de intervención: evitar, minimizar, mitigar y, cuando sea necesario, compensar. En hidrología, incluyen rediseño de drenajes y control de escorrentía (prácticas de manejo de aguas lluvias, detención/retención, revegetalización y manejo de suelos), programación de captaciones y retornos (calendario operativo y caudales máximos instantáneos), y reglas de operación que respeten caudales ambientales y restricciones de variación (rampas de ascenso/descenso). En hidrodinámica, consideran adecuaciones localizadas del cauce, protección de orillas, obras de dissipación y encauzamiento, modificaciones geométricas compatibles con la morfodinámica, franjas de retiro, y medidas no estructurales como sistemas de alerta y ordenamiento del uso del suelo en planicies. Cada medida debe formularse con base en evidencia de modelación (simulación del diseño propuesto), indicadores de efectividad (p. ej., reducción de tirante/velocidad o recuperación de percentiles de caudal), y análisis de sensibilidad a variables operativas.

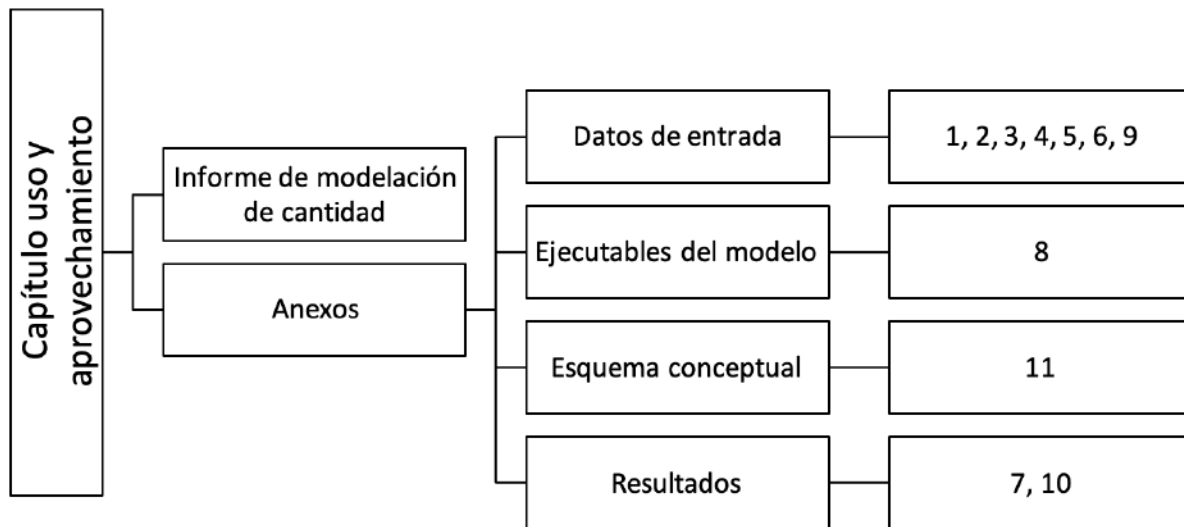
Toda propuesta debe incorporar un plan de seguimiento y manejo adaptativo: variables a monitorear (caudal, nivel, velocidad, huellas de inundación), ubicación de puntos de control, frecuencia, incertidumbre aceptable, umbrales que activan cambios operativos y protocolo de reporte. Cuando existan riesgos significativos (rotura de presas, fallas de contención, avenidas extremas, sequías prolongadas), se deben simular escenarios de contingencia con supuestos conservadores y se deben definir respuestas operativas (maniobras, cierres temporales, rutas de evacuación hidráulica) verificadas con el modelo.

Finalmente, el capítulo debe concluir con la trazabilidad de decisiones: matriz de escenarios (supuestos y fuentes), síntesis de impactos cuantificados con su incertidumbre, justificación técnica de las medidas seleccionadas, y referencias cruzadas a los numerales donde reposan el montaje, las calibraciones, las verificaciones y los archivos que permiten reproducir cada simulación. Con ello, la autoridad puede evaluar consistencia, suficiencia y efectividad de las medidas propuestas en el marco del licenciamiento.

7.9 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ENTREGABLES

Con el fin de optimizar los tiempos en la revisión de la información es importante unificar la ruta en la cual se sitúe el ejercicio de modelación. En este sentido, la información deberá alojarse en los anexos del capítulo de uso y aprovechamiento de los recursos naturales (Capítulo usos y aprovechamiento Recurso Hídrico Modelación cantidad del agua) como se resume en la siguiente figura:

Figura 7-9. Esquema de presentación de información



Fuente: ANLA, 2023

Los numerales que se presentan en la Figura 7-9 para cada una de las subcarpetas que hacen parte del capítulo de uso y aprovechamiento de los recursos naturales, deberán contener como mínimo la información referenciada en la tabla siguiente.


 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERIFERIA DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Tabla 7-12 Información mínima referenciada

DOCUMENTO	CONTENIDO	ANEXOS
Informe de modelación	<p>El informe debe contener el diagrama conceptual del ejercicio de modelación donde se especifique los puntos de uso y aprovechamiento del recurso hídrico como permisos de concesión de aguas, vertimientos y ocupaciones de cauce</p> <p>Definición de las condiciones de contorno a emplear para caudales y profundidades, tanto de entrada como de salida.</p> <p>Justificación de parámetros físicos y numéricos, como lo es tamaño de malla o discretización espacial, refinamiento de tiempo, número de Courant o CFL.</p> <p>Parámetros físicos como coeficientes de rugosidad de Manning para los cuerpos léntico y lóticos y zonas de inundación. Asimismo, se deberá tener en cuenta condiciones de viscosidad y densidad del agua para condiciones locales.</p> <p>Pruebas de bondad de ajuste para ejercicios de calibración y validación del modelo desarrollado.</p> <p>Se debe presentar de forma clara y precisa los escenarios de modelación, los cuales normalmente se relacionan con escenarios con y sin proyecto con la finalidad de generar la respectiva evaluación de impactos ambientales.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Información hidrometeorológica 2) Análisis de consistencia y homogeneidad de datos 3) Imputación de datos faltantes 4) Análisis de frecuencias hidrológicas y estimación de caudales ambientales 5) Archivos en formato vectorial y/o ráster de información empleada en el ejercicio de modelación (mapa de cuencas, localización de estaciones, localización del dominio computacional, mapa de coberturas, mapa de tipos de suelo, mapas de topobatimetrías o modelos de elevación del terreno, polígonos de Thiessen, isoyetas, isothermas etc.) 6) Pruebas de bondad de ajuste para calibración y validación del ejercicio de modelación. 7) Prueba de interdependencia de malla 8) Archivos crudos de modelación hidrológica e hidrodinámica que incluya todos los escenarios modelados. Destacando que se deben poder ejecutar o simular correctamente todos los escenarios modelados incluyendo
		<ol style="list-style-type: none"> los modelos para calibración y validación 9) Permisos de uso y aprovechamiento empleados en el ejercicio de modelación. 10) Resultados de escenarios de modelación con, sin proyecto y comparativo entre estos dos, acorde a términos de referencia. 11) Esquema conceptual de modelación.

Fuente: ANLA, 2023.

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	<p>GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFIJAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS</p>	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

7.9.1 Ubicación de la información

La ruta donde se debe alojar esta información deberá ser en los anexos del capítulo de uso y aprovechamiento de los recursos naturales así:

Capitulo usos y aprovechamiento Recurso Hídrico Modelación cantidad de agua

7.9.2 Modelo de almacenamiento geográfico (MAG)

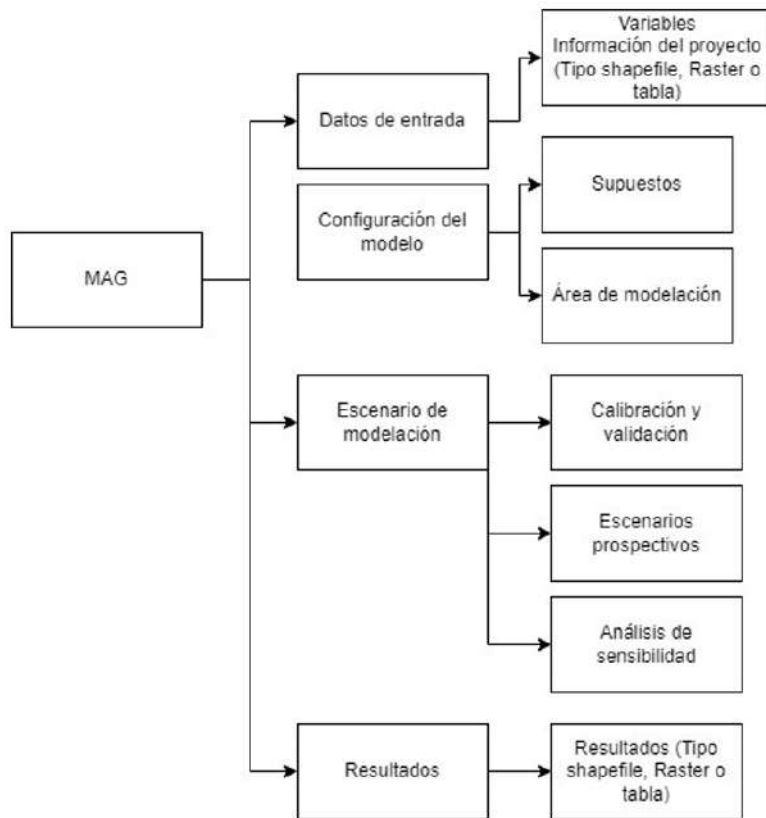
A partir del 23 de diciembre de 2016 se formalizó el nuevo modelo de almacenamiento de datos geográficos mediante la Resolución 2182 de 2016, el cual contó con un periodo de transición de seis meses, a partir de esta fecha es obligatorio para todos los usuarios la entrega de la información geográfica en este modelo, tanto para la Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental EIA, Planes de Manejo Ambiental PMA e Informes de Cumplimiento Ambiental ICA, entre otros.

El MAG, es el punto de partida para estandarizar la entrega de los productos geográficos y cartográficos de los proyectos sujetos a permisos y licenciamiento por parte de esta entidad, de manera que servirán como insumos al Sistema de Información Geográfica -SIG- de la ANLA; herramienta para la administración y gestión de la información georreferenciada que facilita y agiliza la toma de decisiones de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA.


Acorde a lo mencionado con anterioridad, el Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales de la ANLA, en miras a estandarizar la entrega de los modelos de toda índole, que son allegados por cada una de las empresas solicitantes a la ANLA para la Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental EIA, Planes de Manejo Ambiental PMA e Informes de Cumplimiento Ambiental ICA, entre otros, y de esa manera facilitar la evaluación y seguimiento ambiental, destacando que el cargue de los ejercicios de modelación en el MAG no es obligatorio, dado que la resolución 2182 de 2016 no acoge el cargue de modelos, por consiguiente, cargar los ejercicios de modelación en el MAG será de manera opcional.

En ese orden de ideas, se procede a establecer el esquema de presentación de la información de modelación en el MAG, teniendo en cuenta que cualquier ejercicio de modelación presenta una información de entrada o previa para el desarrollo del mismo, una configuración del modelo donde se establecen condiciones de contorno, iniciales, parámetros físicos, numéricos y se acota el alcance de la modelación, posterior a la configuración se simulan unos escenarios de calibración, validación, escenarios actuales y prospectivos, y finalmente obtener unos resultados que aporten en la identificación de impactos ambientales, áreas de influencia entre otros aspectos, evaluación de medidas de manejo y establecimiento de estrategias de monitoreo entre otros aspectos, como se muestra en la Figura 7-10

Figura 7-10. Esquema de presentación de información




Fuente: ANLA, 2023

 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Para dar una directriz más clara al usuario del MAG, se presenta el siguiente cuadro a manera de ejemplo con el objetivo que este tenga una guía clara de la estructuración de los ejercicios de modelación hidrológica e hidrodinámica en el MAG.

Tabla 7-13 Ejemplo estructuración MAG

NOMBRE CAPA GEOGRÁFICA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
AreaModelacion	Espacio modelado, corresponde al dominio computacional del modelo	Las áreas de modelación o dominio computacional deben ser establecidas acorde con el ejercicio de modelación que se esté desarrollando: Modelación hidrológica: Cuando se desarrollan modelaciones de tipo hidrológico acorde a lo establecido en la sección 7.6.4 y 7.5.1, el dominio computacional se extiende a simulación de áreas hidrográficas, zonas hidrográficas, subzonas hidrográficas o niveles 1, II y III de unidades hidrográficas acorde con lo establecido por cada corporación y áreas de drenaje para la proyección de obras para el manejo de escorrentía en proyectos específicos. Modelación hidrodinámica: Los dominios computacionales en modelos hidrodinámicos normalmente se establecen teniendo en cuenta la extensión de las manchas de inundación, la extensión de impactos ambientales que pueden coincidir con el área de influencia física, permitiendo extender las láminas de agua en todo el dominio sin que se vea limitado por la frontera de esta. Se cuenta con variables, parámetros y condiciones de frontera en capas de tipo punto, línea y/o polígono, y se establecen acorde al ejercicio de modelación que se esté desarrollando:
VariablesParametro	Variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Modelación hidrológica: <ul style="list-style-type: none"> PT: Estaciones de tipo pluviométrica, pluviográfica, climatológica ordinaria, climatológica principal, permisos LN: Condición de frontera PG: Subcuencas hidrográficas, números de curva, unidades de respuesta hidrológica (HRU), coeficientes de rugosidad y/o polígonos de Thiessen etc. Modelación hidrodinámica: <ul style="list-style-type: none"> PT: Permisos incluidos en la modelación. LN: Condiciones de frontera por cada una de las variables dependientes a resolver, normalmente velocidades y/o profundidades. PG: Coeficiente de rugosidad y condiciones iniciales de velocidad y/o profundidad.
Resultados	Resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo distribuidos puntualmente.	Los resultados se incluirán acorde con el ejercicio de modelación que se realice: Modelación hidrológica: <ul style="list-style-type: none"> PT: Para modelos hidrológicos semi-distribuidos o agregados, los resultados obtenidos normalmente son series de caudales en los puntos de cierras de cuencas o subcuencas hidrográficas. PG: Pueden ser resultados de evapotranspiración real, índices hídricos, distribución espacial de la precipitación y escorrentía para modelos distribuidos. Modelos hidrodinámicos: <ul style="list-style-type: none"> PT: Para modelos hidrodinámicos unidimensionales se obtienen resultados de velocidad y/o profundidad y/o caudales y/o números de Froude. PL: líneas de corriente e isolíneas de profundidad etc.
		<ul style="list-style-type: none"> PG: Para modelaciones bidimensionales se obtienen resultados de profundidades, velocidades en dos direcciones, caudales, números de Froude etc.
Modelo	Características generales y tipología del modelo ambiental.	Modelos hidrológicos: Acá se deberá diligenciar aspectos importantes del modelo como el método de tránsito de caudales, abstracciones, evapotranspiración potencial, método de humedad del suelo, y por otra parte, la tipología que pueden ser agregados, semi-distribuidos o distribuidos. Modelos hidrodinámicos: Acá se deberá mencionar las características de la modelación hidrodinámica de forma detallada, donde se deberá mencionar las ecuaciones de gobierno empleadas (Saint-Venant 1D, 2D, onda cinemática onda dinámica etc.), también se deberá explicar si se incluyen términos fuente de masa y Momentum, y/o modelos de turbulencia.
ConfiguraModel	Detalla las diferentes configuraciones que se pueden dar para parametrizar la corrida de un Modelo ambiental.	Modelo hidrológico: En esta parte se debe incluir aspectos de configuración como parámetros calibrados y validados del modelo hidrológico como coeficientes de rugosidad, números de curva etc., tamaño de malla, cuenca o subcuencas configuradas etc., tiempos de modelación y/o calentamiento (warm up), pasos de tiempo Modelo hidrodinámico: Incluir parámetros de configuración como coeficientes de rugosidad calibrados y validados, parámetros de caracterización como difusividad, densidad, peso específico, viscosidad cinemática o dinámica, escalas espaciales (tamaño de malla), tipo de malla acorde a lo mencionado en la sección 0, número de Schmidt, paso de tiempo y/o restricción de CFL.
Escenario	Indica las diferentes representaciones de una situación abstracta de la realidad que se pretende modelar.	Modelos hidrológicos: Los modelos hidrológicos pueden tener escenarios con y sin proyecto (cambios de coberturas, geomorfología, embalses etc.), escenarios de cambio climático (RCP o SSP), escenario de calibración y validación. Modelo hidrodinámico: Incluir los escenarios de modelación como simulación de caudales mínimos, medios, máximos, ambientales para escenarios con y sin proyecto, escenario de calibración y validación. De la misma, forma se podrá realizar simulación de los mismos eventos hidrológicos mencionados, pero con una prospectiva de cambio climático (SSP y RCP)
Supuestos	Detalla las certezas asumidas asociadas a una configuración de	Dependiendo el modelo que se esté desarrollando de flujo superficial, se cuentan con suposiciones de modelación: Modelo hidrológico: Un ejemplo de limitaciones del modelo hidrológico es que no hay variación temporal del cambio de coberturas, puede haber limitaciones en la especialización de los datos de precipitación y temperatura por baja densidad de estaciones, homogenizan áreas con variaciones de cobertura, suelos y pendientes. Modelo hidrodinámico:


 <p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

	un ejercicio de modelación.	Las limitaciones de los modelos hidrodinámicos corresponden su aplicación exclusiva de fluidos newtonianos, incompresibles, no hay transferencia de masa en los lechos, las direcciones de algunas velocidades son más relevantes que otras y aplica para flujos someros, o en algunos casos la variación en profundidad no es completamente tridimensional, no hay variaciones de la rugosidad con la profundidad etc.
VariablesParametros	Listado detallado de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera empleados en un modelo.	Modelación hidrológica: <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Temperatura • Coberturas • Tipo de suelo • Pendientes • Parámetros modelo de abstracciones como el número de curva • Parámetros modelo de tránsito como el coeficiente de rugosidad. • Parámetros modelo de humedad como el factor de cultivo. Modelo hidrodinámica: <ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de rugosidad • Condiciones de contorno de caudal • Condiciones de contorno de niveles • Difusividad • Viscosidad • Densidad del fluido • Peso específico • Número de Schmidt • Variables meteorológicas como precipitación, velocidad y dirección del viento etc. • Restricción de Courant (CFL)
RegVariabParam	Descripción y relación de las variables de entrada, parámetros y condiciones de frontera.	Número de curva: toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad Coeficiente de rugosidad: valor que representa la rugosidad o resistencia hidráulica en un cuerpo de agua, en cuerpos lóticos depende de la textura del lecho, vegetación, presencia de obstáculos, variaciones en la sección transversal, sinuosidad (curvas o meandros) etc. Condición de contorno: Normalmente hay condiciones de contorno de entrada y salida, las cuales son los valores de entrada para cada una de las variables dependientes que requiere el sistema de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) u ordinarias (ver sección 0)

		Número de Courant o CFL: Valor que permite determinar si hay convergencia en la solución de EDP, especialmente para la parte advectiva (ver 7.5.2.7) Difusividad: Es un parámetro físico que representa la velocidad de cambio de una variable en un medio por transporte difusivo hasta que esta alcanza el equilibrio. Número de Schmidt: el número de Schmidt permite relacionar la viscosidad cinemática o turbulenta con la difusividad siendo este número adimensional. Se utiliza para caracterizar flujos en los que hay procesos advectivos de cantidad de movimiento y masa.
Resultados	Listado detallado de los resultados cualitativos y cuantitativos de la salida del modelo.	Dependiendo del tipo de modelo hidrológico y/o hidrodinámico se pueden obtener los resultados en vector o ráster. Modelo hidrológico: <ul style="list-style-type: none"> • Caudales medios diarios (m³/s) • Caudales máximos (m³/s) • Caudales mínimos (m³/s) • Caudales ambientales (m³/s) • Oferta Hídrica Total (OHT) (m³/s) • Oferta Hídrica Disponible (OHD) (m³/s) • Índices hídricos • Evapotranspiración real (mm) • Caudales cambio climático (m³/s) • Evapotranspiración cambio climático (mm) Modelo hidrodinámico: <ul style="list-style-type: none"> • Velocidades (x, y, z) (m/s) • Magnitud de velocidades (m/s) • Caudales (m³/s) • Profundidades (m) • Números de Froude • Esfuerzos cortantes (Pa)
RegistroResultados	Registros de los resultados cualitativos y cuantitativos de las salidas de un modelo.	Dependiendo del tipo de modelo hidrológico y/o hidrodinámico se pueden obtener los resultados en vector o ráster. Modelo hidrológico: <ul style="list-style-type: none"> • Caudales medios diarios (m³/s) • Caudales máximos (m³/s) • Caudales mínimos (m³/s) • Caudales ambientales (m³/s) • Oferta Hídrica Total (OHT) (m³/s) • Oferta Hídrica Disponible (OHD) (m³/s)

		<ul style="list-style-type: none"> • Índices hídricos • Evapotranspiración real (mm) • Caudales cambio climático (m³/s) • Evapotranspiración cambio climático (mm) Modelo hidrodinámico: <ul style="list-style-type: none"> • Velocidades (x, y, z) (m/s) • Magnitud de velocidades (m/s) • Caudales (m³/s) • Profundidades (m) • Números de Froude • Esfuerzos cortantes (P.a.)
--	--	---

Fuente: ANLA, 2023

 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

8. Referencias

- **United States Environmental Protection Agency.**,Guidance for Quality Assurance Project Plans. Environmental Protection Agency, December, 1-58. (2002)
- **Duan, Q., Gupta, H. V., Sorooshian, S., Rousseau, A. N., & Turcotte, R.** ,Calibration of watershed models (Vol. 6). John Wiley & Sons. (2003)
- **Miner, G.**,Stormwater Conveyance Modeling and Design. American Water Works Association. Journal, 95(12), 122. (2003)
- **INVIAS, I.** ,Manual de Drenaje para carreteras. Bogotá. (2009)
- **Rodríguez Díaz, H. A.** ,Hidráulica fluvial. Fundamentos y aplicaciones. Socavación. (2010)
- **Szymkiewicz, R.** ,Numerical modeling in open channel hydraulics (Vol. 83). Springer Science & Business Media. (2010)
- **Rubio, T. O.** ,Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Ecoe ediciones. (2011)
- **Cabrera, J.** ,Calibración de modelos hidrológicos - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. (2012)
- **Fletcher, C. A.** ,Computational techniques for fluid dynamics 2: Specific techniques for different flow categories. Springer Science & Business Media. (2012)
- **Martínez, C.**,Estadística y muestreo-13ra Edición. Ecoe ediciones. (2012)
- **Béjar, M. V.** ,Hec-Ras: Ejemplos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2014)
- **Kundu, P. K., Cohen, I. M., & Dowling, D. R.** ,Fluid mechanics. Academic press. (2015)
- **Kajishima, T., & Taira, K.** ,Computational fluid dynamics: Incompressible turbulent flows. Springer. (2016)
- **Kim, K. B., Kwon, H.-H., & Han, D.** ,Exploration of warm-up period in conceptual hydrological modelling. Journal of Hydrology, 556, 194-210. (2018)

<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>	GUÍA EXTERNA DE BUENAS PRÁCTICAS DE MODELACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA SU PERFICIAL DEL CENTRO DE MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ANLA PARA ACTORES EXTERNOS	Fecha	12-05-2026
		Versión	1
		Código	IR-GU-16

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre	Nombre	Nombre
Mariana Carreño Bernal Didier Felipe Barragan Rojas	Oscar Alexander Varila Quiroga	Jorge Alberto Sanabria Morales
Cargo	Cargo	Cargo
Profesional Técnico Profesional de Calidad	Profesional Especializado	Coordinador
Fecha	Fecha	Fecha
08-05-2026	12-05-2026	12-05-2026