



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ESTADO DE LA MODELACIÓN Y LA ADQUISICIÓN DE
GEODATOS EN ECOHIDRÁULICA:
UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Gilberto Villamil Ortiz

Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática

Facultad de Ingeniería

Universidad de Antioquia

Medellín, Colombia

2020



**ESTADO DE LA MODELACIÓN Y LA ADQUISICIÓN DE GEODATOS EN
ECOHIDRÁULICA: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Gilberto Villamil Ortiz. Ingeniero civil

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor:

Julio Eduardo Canon Barriga. Ingeniero Civil, MSc, Ph.D.

Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática
Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
2020

DEDICATORIA:

A DIOS. Guía en mi caminar, me bendice y me llena de fuerzas para continuar y terminar metas.

A mis padres Gilberto y Luz. Siempre han sido mi ejemplo de vida.

Guarda, hijo mío, el mandamiento de tu padre y no abandones la enseñanza de tu madre.

Proverbios 6:20.

A mis hijos. Son la razón por la cual me hago más fuerte..... pero siguen siendo mi debilidad.

Porque yo derramaré aguas sobre el sequezal, y ríos sobre la tierra árida; mi Espíritu derramaré sobre tu generación, y mi bendición sobre tus renuevos.

Isaías 44:3

A mis profesores. Gracias profesores por ser inspiradores.

«El maestro mediocre cuenta. El maestro corriente explica. El maestro bueno demuestra. El maestro excelente inspira.».

William A. Ward

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1 Revisión sistemática.....	13
2.2 Base de datos	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1 Generalidades	17
3.2 Enfoque investigativo.....	19
3.3 Modelación ecohidráulica	21
3.4 Datos espaciales- Geodatos.....	30
3.4.1 Geodato hidrodinámico.....	30
3.4.2 Geodato ecológico	33
4. CONCLUSIONES.....	36
5. BIBLIOGRAFÍA	38
6. ANEXOS.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temas principales con relación al sitio de estudio	19
Tabla 2. Cantidad de modelos de tipo físico, computacional y combinados de acuerdo con el tema principal.....	22
Tabla 3. Niveles de simulación computación con respecto a temas en ecohidráulica.....	24
Tabla 4. Descripción y clasificación de las distintas ayudas computacionales usadas en modelación ecohidráulica	27

RESUMEN

La ecohidráulica es una disciplina multidisciplinaria, relativamente nueva, que ha logrado importantes y significativos avances en los últimos años. Sus simulaciones integran diferentes modelos, con un enfoque principal en la modelación hidráulica para determinar la idoneidad del hábitat fluvial (ecología). Esta modelación requiere datos de entrada alfanuméricos y geodatos, los cuales tienen un procesamiento de tipo físico o computacional. En el presente artículo hacemos una revisión sistemática de 301 artículos publicados entre 2015 y 2020, de los que se seleccionaron 80 por su temática y se hizo una base de datos en el programa Microsoft Excel para conocer, a nivel general, el estado actual de la modelación en ecohidráulica. La base de datos se analizó por temáticas según las generalidades de la disciplina, el enfoque principal investigativo, la modelación en ecohidráulica, y por último el uso de geodatos como condición de entrada para un SIG para dos de las variables más importantes: la velocidad de la corriente y la profundidad del flujo.

Palabras claves: modelación ecohidráulica, geodatos, modelos, hábitat

ABSTRACT

Eco-hydraulics is a relatively new, multidisciplinary discipline that has made significant and important advances in recent years. Its simulations integrate different models, with a main focus on hydraulic modeling to determine the suitability of river habitat (ecology). This modeling requires alphanumeric input data and geodata, which have a physical or computational processing. In the present article we make a systematic review of 301 articles published between 2015 and 2020, of which 80 were selected by their subject matter and a database was made in the Microsoft Excel program to know, at a general level, the current state of the art in eco-hydraulic modeling. The database was analyzed by subject according to the generalities of the discipline, the main research focus, the modeling in ecohydraulics, and finally the use of geodata as an input condition for a GIS for two of the most important variables: current velocity and flow depth.

Keywords: ecohydraulic modelling, geodata, models, habitat

1. INTRODUCCIÓN

Existen diversas definiciones de la ecohidráulica. Gosselin et al. (2019) consideran que es una ciencia ampliada que se centra en la hidráulica, que aborda temas ambientales que no se desarrollan únicamente con herramientas ecológicas y que su planteamiento se realiza mediante enfoques multidisciplinarios con el fin de generar medidas de remediación a los impactos antropológicos. Su investigación emergente, tiene bajo principios una orientación multidisciplinaria, pero su tendencia es a convertirse cada vez más en interdisciplinaria unificadora y sólida para integrar disciplinas como la biología, la ecología, la geomorfología fluvial, el transporte de sedimentos, la hidrología, la hidráulica fluvial, la ingeniería fluvial y los recursos hídricos (Mouton & Harby, 2017) y avanzar a ser transdisciplinario con la participación del usuario final (Ian Maddock et al., 2013).

Los ecosistemas acuáticos han experimentado constantemente diversos impactos antropogénicos que incluyen el cambio de la regulación de flujo, modificación del suministro natural de sedimentos, alteración de calidad de agua, entre otros. Estos impactos son producto de la construcción de infraestructura para el beneficio “parcial” humano como: represas de almacenamiento de agua para consumo humano o generación de energía (hidroelectricidad), vías, puentes, canales de riego, explotación de la minería, dragados etc. Estas actividades afectan ostensiblemente las fuentes hídricas generando impactos negativos en los ecosistemas, a tal grado que en algún momento requieren de un proceso de restauración de alguna función ecológica.

La ecohidráulica a menudo requiere modelos numéricos avanzados y teorías ecológicas que se utilizan para la gestión de ríos y organismos acuáticos. Un modelo ecohidráulico puede ser una herramienta eficiente para mejorar la comprensión de los diferentes escenarios y ayudar a la simulación del hábitat y también puede proporcionar a los tomadores de decisiones información valiosa para optimizar la gestión fluvial (Yao, 2020).

Una modelación ecohidráulica desarrolla un modelo hidráulico y un modelo ecológico de simulación del hábitat con el apoyo de otras disciplinas. Para facilitar su desarrollo en las diferentes etapas se utilizan modelos de tipo matemático, estadístico, matemático computacional entre otros.

Su uso individual o combinado depende de la respuesta a las hipótesis de investigación, tipo de simulaciones, atributos o variables de estudio, la escala de investigación entre otros factores.

Inicialmente en la modelación ecohidráulica se empleaban modelos hidrodinámicos de hábitat físico de carácter numérico unidimensional (1D) que limitan la modelación hidráulica y que producen una información de base para un modelo ecológico independiente de simulación del hábitat (Sanz_Ramos et al., 2019). Manteniendo la misma metodología, en la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD por sus siglas en inglés) han surgido nuevas aplicaciones de carácter numérico 2D, pseudo 2D o cuasi 2D y 3D para simular las propiedades de los componentes fluviales.

A nivel espacial, el modelo hidráulico 1D representa las propiedades de flujo en una dirección (dirección longitudinal o aguas abajo a lo largo del río, 2D representa las propiedades de flujo a lo largo de dos direcciones (direcciones longitudinales o transversales o direcciones longitudinales y verticales), 3D representa las propiedades de flujo a lo largo de tres direcciones (dirección longitudinal a lo largo del río, una dirección transversal al eje principal y una dirección vertical en profundidad) (Addo, 2019).

A nivel de enfoque hidráulico, un modelo unidimensional analiza el tramo de río como un conjunto de secciones transversales que suponen un régimen de flujo uniforme y sólo se consideran los cambios en la sección longitudinal (Oliveira et al., 2016). Los enfoques pseudo 2D simplifican uno o dos términos en las ecuaciones de momento de Saint-Venant y eliminan el detalle de la geometría de la malla y por consiguiente los datos de la pendiente y rugosidad (Hugue et al., 2016). Para el modelado bidimensional, la velocidad del flujo es variable en ambas direcciones, longitudinal y transversal. El lecho del río se discretiza en una malla de elementos finitos, los valores de profundidad y dos componentes horizontales de la velocidad se obtienen para cada punto de cálculo, se interpolan (mayor probabilidad de error) a partir de los nodos pertenecientes a los elementos de la malla para producir un campo de flujo continuo a lo largo del curso del agua (Oliveira et al. 2016), mientras que los modelos 3D son los mejores por su representación más aceptable a la realidad, son más complejos, requieren más precisión de datos, mayores consumos de recursos computacionales y producen resultados más detallados.

En cuanto a su uso, los modelos numéricos son de diferente grado de complejidad de acuerdo con el nivel de simulación esperada. Los modelos 1D simulan procesos de flujo en diferentes periodos (cortos y a largo plazo) mientras que los modelos 2D y 3D predicen procesos morfodinámicos bajo flujos un poco más complejos (Herausgegeben et al., 2016).

A nivel evolutivo, la ecohidráulica ha venido cambiando a la par con el avance tecnológico. En 1976 se conoce uno de los primeros programas hidráulicos de computadora (PHABSIM) que integra condiciones de profundidad y velocidad con conceptos de criterios de idoneidad del hábitat (integración de un modelo hidrodinámico y un modelo ecológico) para abordar flujos ambientales. Posteriormente se ha desarrollado RHYHABSIM con un concepto similar para la hidráulica de ríos y simulación del hábitat (Nestler et al., 2016). La transición del enfoque de simulación ha pasado de ejecutar modelos separados a usar programas computacionales para el estudio de la ecohidráulica, con ambientes amigables, algoritmos más complejos, con diversidad de simulaciones en cuanto a hábitat fluvial.

En las interacciones entre modelos, Jacobs et al. (2018) realizaron un modelo ecohidráulico 2D donde usaron los programas computacionales HEC-RAS y SRH-2D para la modelación hidrodinámica para peces, apoyándose en el software ArcGIS para realizar diferentes geoprosos, y el software iRIC para la simulación de los criterios de idoneidad de hábitat (Habitat Suitability Criteria o HSC, por sus siglas en inglés) y el área utilizable ponderada total (Weighted Usable Area o WUA, por sus siglas en inglés); mientras que Sanz-Ramos et al. (2019) caracterizaron y cuantificaron el Hábitat Potencial Útil (HPU) para peces de río mediante una modelación Ecohidráulica con un modelo hidrodinámico 2D y ecológico integrado mediante el software iberHABITAT.

A partir de una revisión sistemática de artículos desde el año 2000 al año 2016, (Brewer et al. 2018) caracterizaron y clasificaron las distintas ayudas computacionales usadas en los modelos hidrológicos, hidráulicos, de calidad de agua y ecológicos que se relacionan con las disciplinas de ecohidrología y ecohidráulica, encontrando 30 Programas Computacionales (PC) hidrodinámicos y el mismo número para modelación ecológica, siendo HEC-RAS y ORCHIDEE los más usados respectivamente.

Para hacer un modelo ecohidráulico con un enfoque determinado, se requiere el ingreso de datos como: velocidad, profundidad, tipo de sustrato, temperatura, turbiedad, vorticidad, área mojada,

nivel del agua, esfuerzo cortante, rugosidad, porosidad entre otros; su uso depende del ecosistema fluvial, alcance, escala y tipo de modelación numérica. La obtención de esta información proporciona un dato de tipo alfanumérico o de tipo geodato, que se puede usar en un Sistema de Información Geográfica (SIG) u otro programa computacional similar. Existen diferentes tipos, fuentes e información que se obtienen de un geodato. Entre los más usados y que son objeto en este artículo se encuentran:

1. DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model), DTM (Digital Terrain Model), TIN (Triangulated Irregular Network) o similar. Mediante métodos de captura directos: levantamientos topográficos convencionales con estación total o similar, o GPS (Global Positioning System), DGPS (Diferencial Global Positioning System), RTK (Real Time Kinematic) y otros; mediante teledetección con sensores remotos como la compra o descarga gratis, imagen activa LIDAR (Light Detection and Ranging), FLIR (Forward Looking InfraRed), Laser fluosensor, RADAR (RADio Detection And Ranging) o métodos de captura indirectos como fotografías aéreas, imágenes satelitales pasivas, tableros digitalizadores y escáner (Juan and Justel, 2010). Con un DEM se obtiene la información de: profundidad, pendiente, curvas, análisis morfométrico de la zona, relaciones con otras variables, calibración, análisis estadísticos, visualización 3D del sitio de interés, identificación de usos, objetos etc.
2. Velocidad. Ubicación espacial de los puntos de medición de la variable. Tuhtan et al. (2016) presentan las diferentes técnicas para la medición de la velocidad: ADV (Acoustic Doppler Velocity), ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), PIV/PTV (Particle Image Velocimetry/Particle Tracking Velocimetry), Hot Wire, LDV (Laser Doppler Velocimetry), LLP (Lateral Line Probe), UVP (Ultrasonic Velocity Profiling), Medidores de hélice etc.

En esta monografía proponemos una revisión bibliográfica del estado general de la modelación de la ecodinámica mediante una revisión de artículos publicados entre 2015 y 2020. Como objetivos específicos del trabajo están:

1. Identificar los sistemas fluviales y los temas principales en que se centra la investigación de la ecodinámica

2. Clasificar las distintas ayudas informáticas usadas para la realización de una modelación ecohidráulica entre ellas: SIG, hidrodinámica, ecológica, hidrodinámico-ecológica, estadística, base de datos y otras.
3. Analizar las distintas metodologías para la obtención de geodatos de las variables velocidad y profundidad en la modelación hidrodinámica y para la modelación del hábitat.

2. METODOLOGÍA

La metodología de esta monografía está compuesta por dos fases: 1) revisión sistemática general de artículos y 2) creación de base de datos bibliográfica: extracción, clasificación, organización específica y análisis de la información derivada de la revisión.

2.1 Revisión sistemática

En esta primera etapa de revisión buscamos distintos artículos aceptados y publicados recientemente en la disciplina de ecohidráulica entre 2015 y 2020, basados en diferentes editoriales como: Elsevier, Wiley, Journal Pre-proof, MDPI, la revista Journal of Ecohydraulics, tesis de grados y otros. Para la búsqueda utilizamos los siguientes motores, bibliotecas electrónicas, repositorios de universidades de Colombia y Latinoamérica:

- Google Scholar (búsqueda idioma inglés)
- Google Académico (búsqueda de idioma español)
- Engeneering village
- Refseek
- Springer link
- Base
- Jurn
- Microsoft academic
- iSEEK Education
- Science Research
- DOAJ
- International Journal of River Basin Management
- Library Genesis
- Universidades de Sudamérica
- Virtual LRC

- Dialnet
- Scielo

Los criterios de búsqueda fueron: “Ecohydraulic AND Model”, “habitat simulation”, “Modelos ecohidráulicos”, “hábitat simulación”. Los artículos se descargaron, previsualizaron y analizaron para verificar que cumplieran con los criterios de la búsqueda. Los que cumplieron con el objeto de la revisión, se almacenaron en la aplicación web y de escritorio Mendeley buscando que los artículos no tuvieran duplicidad. Las publicaciones con la citación, autores, fecha de publicación, DOI y/o link se muestran en el Anexo 1.

2.2 Base de datos

La base de datos se construyó en Microsoft Excel. La información se extrajo, se clasificó cronológicamente de más reciente a más antigua y se organizó por atributos importantes para el estudio. Los atributos más importantes son los siguientes:

Generalidades:

1. Id, citación, autores, fecha de publicación, DOI y/o link, idioma de publicación.
2. Tipo de documento (artículo de investigación, artículo de revisión, informe técnico, manual técnico, tesis)
3. Información espacial: continente, país; sistema fluvial de estudio (río, lago, humedal, laboratorio, arroyo y otro).

Enfoque investigativo:

4. Tema principal de acuerdo con Casas-Mulet et al. (2016), se toma como referencia la tabla 2 lista los distintos temas generales o macrotemas.
5. Ecosistema, especie u otro.
6. Escala del estudio en km². El área corresponde al hábitat definitivo o provisional en caso de estudios realizados en laboratorio. Según Huggett (2004), el hábitat se puede clasificar en microhábitat (< 1km²), Mesohábitat (entre 1 y 10.000 km²), macrohábitat (entre 10.000 y 1.000.000 km²) y megahábitat (> 1.000.000 km²). Para las publicaciones que definían

un valor de área, se identificaba su alcance: estudios en laboratorio, evaluación, diseño, optimización de una estructura hidráulica (alcantarillas, piscinas, vertederos, esclusas, turbinas, rampas, escaleras y otras), se clasificaban como microhábitat. Para las publicaciones con sólo la longitud del tramo de estudio, se buscaba información adicional del ancho promedio y se estimaba el área. Cuando se realizaban muestreos en un río y se reportaba el área de la cuenca, se utilizaba este valor para su clasificación.

Modelación ecohidráulica:

7. Clasificación de modelos ecohidráulicos. Una publicación de modelación en ecohidráulica debe tener como modelos principales el hidráulico y el ecológico, en los que se debe culminar con una simulación del hábitat. Adicional a los anteriores, existen modelos auxiliares de tipo Estadístico (E), Geoestadístico (G), Matemático (M), o combinaciones entre ellos o con otras disciplinas. Estos modelos se clasificaron inicialmente en Físicos (no usan ayudas computacionales), Computacionales o Combinados y, de acuerdo a la prioridad de procesamiento de la información, en: Estadístico (E), Estadístico-Hidrodinámico, Hidrodinámico, Matemático, Geoestadístico, Hidrodinámico-Matemático y otros.
8. Clasificación de las ayudas computacionales. Se clasificaron de acuerdo con la funcionalidad y aplicación en el estudio: SIG, herramienta hidrodinámica, ecológica, ecohidráulica, estadística, matemática y otras; el nivel de simulación numérica de CFD (1D, cuasi 2D, 2D y 3D; tipo de licencia: Comercial (C), Gratuito (G) o código abierto o Libre (L).
9. Identificación de índices de idoneidad de hábitat y si no se usa, el tipo de relaciones entre lo hidráulico y la ecología.

Datos espaciales- Geodatos:

10. Tipo de geodato, fuente de obtención, calidad y propósito.

En la figura 1 se presenta el diagrama de flujo de la metodología para el proceso de revisión sistemática en este estudio.

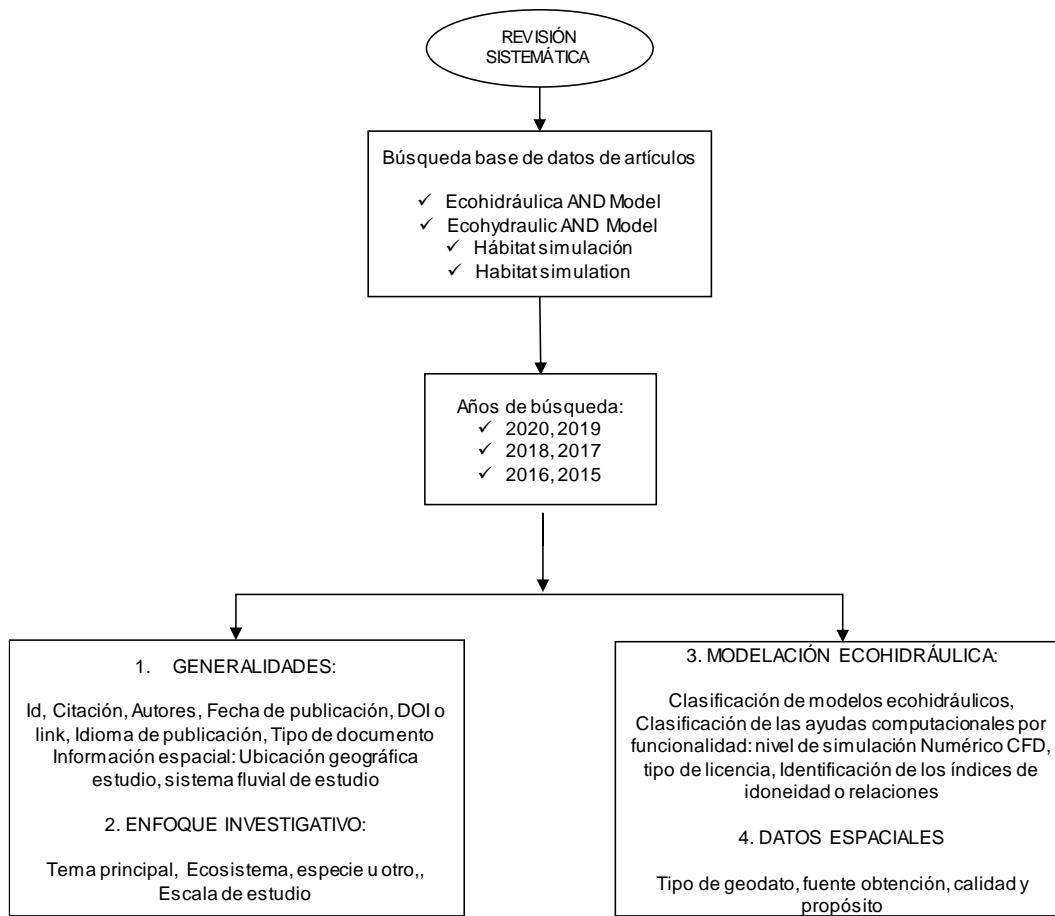


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda sistemática.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cada buscador arrojó un resultado de artículos, para el periodo de 2015 hasta el 08 de junio de 2020. Se encontraron en total 301 artículos, de los cuales 19 corresponden al año 2020, 46 al año 2019, 85 al año 2018, 46 al año 2017, 69 al año 2016 y por último 36 en el año 2015. Se inició la revisión uno a uno para el año 2020 y 2019 con un total de 65 artículos, agrupándolos por temas. Al encontrar similitud en muchos trabajos en cuanto a temas, metodologías, ayudas computacionales, para los años del 2015 al 2018 se realizó una revisión selectiva de 15 artículos para un total de 80 artículos revisados.

3.1 Generalidades

El idioma principal de publicación es el inglés, con una participación del 95% del total, el restante correspondió al idioma español, resultados consistentes con los criterios de búsqueda.

Las universidades son las asociaciones que más aportan en la investigación de esta disciplina con un 77.5% de artículos, mientras que la participación restante lo hacen los institutos de investigación.

Las publicaciones presentan sus informes mediante artículos de investigación en un 88.8%, tesis de grado con un 6.3%, artículo de revisión en un 2.5%, e informe técnico y manual técnico con un 1.3%.

A nivel de tendencia geográfica, en la siguiente figura se presenta la participación por continente y país. Europa participa con el 43.75% del total, siendo el Reino Unido el principal país investigador de esta zona del mundo con una participación global del 12.5% y continental del 28.57%. América le sigue muy cercanamente en importancia con una participación del orden del 38.8%, con Norte de América como principal región aportando el 26.25% del total, destacándose Estados Unidos como el principal país en investigación y desarrollo de la ecohidráulica con 17.5% a nivel global, Canadá con una contribución del 8.75%, América latina con un 12.5% (con Brasil

aportando la mitad de estas publicaciones, 6.25%), otros continentes como Asia con un 10% y Oceanía con el 7.5%, con China y Australia como sus principales aportantes de artículos. África no participa con ninguna publicación.

En cuanto participación global por países, las cinco posiciones en orden descendente son: Estados Unidos con 17.5%, Reino Unido con un 12.5%, Canadá con 8.75% , con un 6.25% el grupo de países: Brasil, Noruega, Australia, y con el 5% la República Popular de China.

Casas-Mulet et al. (2016) analizaron la participación de artículos de investigación por continente en el periodo de 1994 al 2016, y encontraron que Europa del norte representaba el 31%, Asia el 20% y América del Norte el 18%, y subrayaban la buena participación de Asia en el Simposio Internacional de ecohidráulica realizado en Seúl en el año 2010, que hizo que aumentara ese porcentaje del continente asiático. En cuanto a África, tuvo una participación del 9%, con un aporte muy significativo de Sudáfrica.

Brewer, et al. (2018), en su artículo sobre los modelos de enfoque ecohidráulico para el periodo 2000 a 2016, reportaron que, en la modelación hidráulica y ecológica, de mayor a menor participación, los países que se destacan en el número de artículos sobre modelación hidráulica son: Estados Unidos, China, Reino Unido, Canadá, Australia y Brasil. En cuanto a modelos ecológicos en el mismo orden se destaca: Estados Unidos, China, Australia, Canadá y España.

Con respecto a la primera cita, se presenta tendencias de incremento y disminución de participación. En cuanto a disminución en Europa del Norte en cabeza de Noruega, Suecia y Finlandia aportaron el 11.25% al igual que Asia y África, mientras que América el Norte en cabeza de Estados Unidos tuvo un incremento en la investigación en esta disciplina. Según la segunda cita bibliográfica, hay mucha similitud en los resultados obtenidos por países, y se concluye igualmente que los países del Norte de América, especialmente Estados Unidos, están a la vanguardia en la investigación en ecohidráulica.

En la figura 2 se muestra el número de publicaciones por país y continente (en la tabla al margen izquierdo), la participación por rangos de colores de los países en el mapa central y la representación geográfica continental en el mapa del recuadro interno.

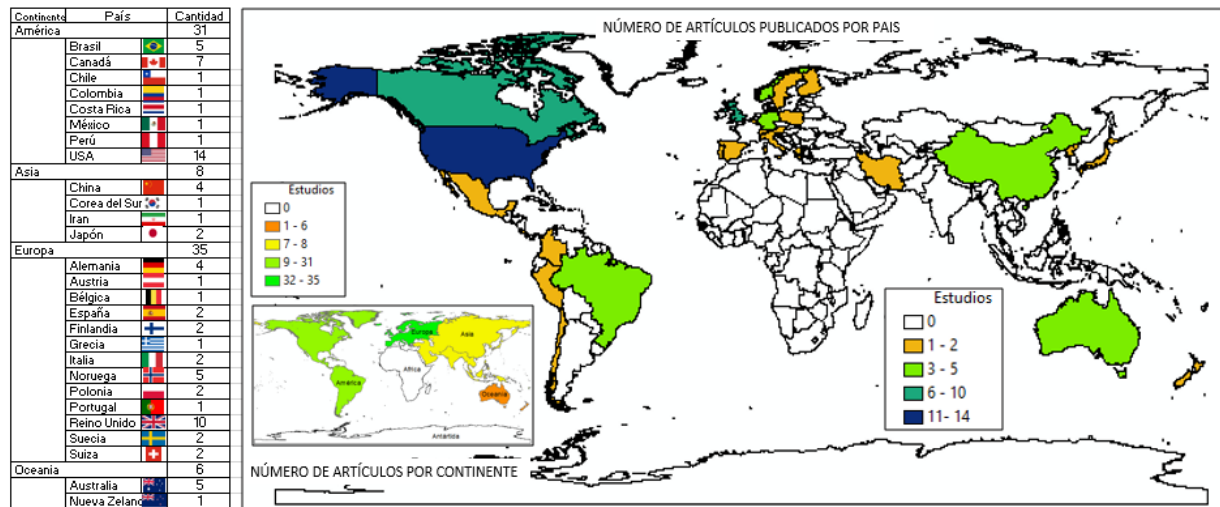


Figura 2. Cantidad de documentos publicados por continente y país.

3.2 Enfoque investigativo

Las temáticas principales encontradas en la revisión son las siguientes: Estuarios (E), Macroinvertebrados (M), Modelado (Mh), Respuesta de flujo (Rf), Respuesta de la vegetación (Rv), Respuesta de peces (Rp), Respuesta del hábitat físico (Rhf), Teledetección fluvial (Tf). En la tabla 1 se presenta la relación de los temas con respecto a los sistemas fluviales de estudio.

Tabla 1. Temas principales con relación al sitio de estudio

Tema	Arroyo	Humedal	Laboratorio	Lago	Río	Número
E					1	1
M	1				2	3
Mh					14	14
Rf					2	2
Rv		1	4		3	8
Rp			12	1	17	29
Rhf	4		2		13	19
Tf					3	3
Total	5	1	18	1	55	80

Los temas se clasificaron de acuerdo con el enfoque investigativo y las variables ecohidráulicas principales empleadas. La teledetección se colocó en un aparte de la agrupación ya que es un objetivo de importancia de este estudio.

De los sitios de estudio que se enfocaron, el sistema fluvial tipo río es el sitio de mayor importancia en los estudios ecohidráulicos, con una participación importante del 68.75%. Los estudios en laboratorio representan el 22.50%, los arroyos que son sistemas fluviales muy similares al río participan con un 6.25% y los poco estudiados son los humedales y lagos con un 1.25% cada uno.

El río es el sistema fluvial de mayor prevalencia en los estudios, por muchas razones, entre ellas: el río presenta multiecosistemas acuáticos estratégicos, facilidad de acceso para las investigaciones, multivariabilidad de servicios ecosistémicos y, en muchas regiones, es la base económica y de saneamiento básico (suministro de agua cruda), generando el máximo interés por los procesos degradativos que requieren actividades de restauración.

De los temas que se enfocaron las publicaciones, el 37.5% se basó en la Restauración de peces (Rp): movimientos de peces, migración de peces y otros subtemas; Respuesta del hábitat físico (Rhf) con un 23.75% con los siguientes subtemas: sedimentos, restauración del hábitat, modelación física del hábitat, modelación del hábitat entre otros; el Modelado hidráulico con un 17.50%; Respuesta de la vegetación (Rv) con un 10%; y con participaciones menores en su orden Macroinvertebrados (M) con 3.75%; Teledetección fluvial (Tf) con 3.75%; Respuesta de flujo (Rf) con un 2.5%; y por último los Estuarios (E) con 1.25%.

Según la investigación de Casas-Mulet et al. (2016), la distribución porcentual de temas se da por la Respuesta del hábitat físico (Rhf) con un 30%, Respuesta de peces (Rp) con un 22%, el modelamiento hidráulico con un 16%, Estuarios (E) con 2% y Respuestas de vegetación (Rv) con un 2.8%.

Valores similares de tendencia se presentan en esta revisión del estado actual de la modelación ecohidráulica en el periodo de 2015 a 2020, con el mejoramiento de los modelos al ser cada vez más interdisciplinarios y multidisciplinarios.

Ahora la pregunta resultante es: ¿En qué ecosistema, especie u otro, se centran las publicaciones revisadas? Muchos estudios no se enfocaron en una especie, otros en una estructura específica y algunos enfocaron sus estudios en un río específico y analizaron en general las métricas del paisaje

fluvial. El 65% de los estudios se centraron en diferentes especies de peces, el 8.75% no especificaron, pero se clasificó como hábitat fluvial en general, el 7.5% al enfoque específico en Macroinvertebrados y el 10% a la vegetación especialmente ribereña, el 3.75% en plantas acuáticas, sedimentos con un 2.50%, 1.25% para el sustrato y el hábitat de un canal urbano.

Según la clasificación de escala de hábitat de Huggett (2004), el 82.43% de las publicaciones tuvieron una escala de microhábitat, 12.16% de mesohábitat y el restante 5.41% de macrohábitat. Estos valores son correspondientes al sitio de estudio, la especie de investigación y la magnitud del alcance. Las disciplinas nuevas deben iniciar sus investigaciones en pequeñas zonas, laboratorios experimentales para ir aumentando gradualmente y con seguridad la escala de investigación.

3.3 Modelación ecohidráulica

La disciplina de la ecohidráulica se centra en la hidráulica, la mayoría de los procesos que se presentan para la entrada de datos depende mucho del flujo, pero la escala de ingreso es más fina que la de la hidrología. Desde el año 2000, su enfoque ha venido cambiando, haciendo que la multidisciplinariedad proporcione nuevas alternativas de modelamiento integrado de los principios hidráulicos con los de ecología del paisaje (Gosselin et al. 2019). Aunque centrada en los modelos hidrodinámicos, la ecohidráulica integró los modelos ecológicos que relacionan los atributos físicos (variables) con los valores de idoneidad del hábitat (Moniz et al. 2019). Adicionalmente a los modelos hidrodinámicos y ecológicos, hay otros igualmente importantes que sirven de apoyo como los modelos estadísticos, matemáticos y, dado el caso, la participación de otras disciplinas. Estos modelos pueden ser de tipo físico (sin una ayuda computacional) o computacional con el apoyo de al menos una herramienta computacional.

La modelación física y las simulaciones computacionales sirven para describir la hidrodinámica y la hidromorfología de un sistema fluvial. La primera produce resultados directamente visibles, pero requieren más tiempo, recursos y sus predicciones son a mediana y pequeña escala, caso contrario a lo que se espera de la segunda (Vaughan, 2007; Bratrich et al. 2004). En la tabla 2 se clasifican los modelos empleados en físicos, computacionales y combinados; y a su vez, se relacionan con los temas encontrados.

Tabla 2. Cantidad de modelos de tipo físico, computacional y combinados de acuerdo con el tema principal

Tipo de modelo	Tema								Cantidad	
	E	M	Mh	Rf	Rv	Rp	Rhf	Tf		
Físicos										
Estadístico					3	12	2		17	
Estadístico-Hidrodinámico							1	1	2	23
Hidrodinámico			1		2				3	
Matemático							1		1	
Computacionales										
Estadístico		1			2	6			9	
Estadístico-Hidrodinámico	1		1			2	2		6	
Estadístico-Matemático							1		1	
Geoestadístico							1		1	49
Ecohidráulico		1	2				3	1	7	
Hidrodinámico		1	9	1	1	7	5		24	
Estadístico- Hidrogeomórfico				1					1	
Combinados										
Estadístico-Hidrodinámico						1	2		3	4
Hidrodinámico- Matemático						1			1	
Total	1	3	13	2	8	29	18	2	76	

Aunque la disciplina de la ecohidráulica es relativamente nueva, la realización de una modelación física representa el 30.26%, siendo el modelo estadístico el de mayor uso. Desde el inicio de la era computacional se ha masificado el uso de los programas de computador y los estudios en ecohidráulica no son la excepción: el 64.47% de las publicaciones usan ayudas o herramientas computacionales para procesar la información de tipo estadístico, hidrodinámico o matemático, y combinan (físico y computacionales) con un 5.26%.

A nivel de escala de hábitat, los modelos físicos se aplican es un 82.60% en el microhábitat y un 8.70% en el mesohábitat. Por lo tanto, el 91.30% de las publicaciones se realizan en áreas menores o iguales a 10,000km².

Las ayudas computacionales agilizan procesos y los simplifican, siendo el modelo hidrodinámico el de mayor participación individual con un 31.58%. Sin embargo, la ecohidráulica requiere una simulación del hábitat, por lo que es necesario de otra ayuda computacional de tipo ecológica o una relación de los datos de las variables hidráulicas con la idoneidad del hábitat.

La evolución de la ecohidráulica ha permitido el surgimiento de nuevos modelos que combinan la hidráulica y la ecología en un mismo programa computacional, que en esta monografía les hemos nombrado como modelos ecohidráulicos. Este tipo de modelo participó en un 9.21% del total y con una tendencia creciente.

Desde los inicios de la ecohidráulica se han usado diferentes modelos hidrodinámicos con un nivel numérico en la CFD de tipo unidimensional (1D), cuasi 2D (pseudo-2D), bidimensional (2D) y tridimensional (3D). En una modelación ecohidráulica se usa alguno o una combinación de ellos. El 45% de las publicaciones relacionaron algún nivel numérico tanto individual o combinado, en el cual ejecutaron un modelo de tipo hidrodinámico o ecohidráulico. De mayor a menor, la participación individual del nivel numérico fue: los 2D con el 44.44%, los 3D con el 19.44%, los 1D con el 13.89%, los cuasi 2D con el 5.56%, y por combinaciones: 1D y 2D con el 11.11%, 1D con cuasi 2D el 2.78%, cuasi 2D y 2D con el 2.78%. En cuanto la participación individual más la combinada, el nivel numérico bidimensional tuvo una frecuencia de uso del 58.33%, el unidimensional con un 27.78%, el tridimensional con un 19.44% y por último el cuasi 2D con un 11.11%. Por lo tanto, el nivel numérico de simulación bidimensional es el más usado en estas publicaciones de ecohidráulica.

El nivel de modelación 2D y 1D se usó en mayor presentación en los temas de respuesta del hábitat físico y en el Modelado hidráulico, mientras que el 3D se empleó con mayor frecuencia en los temas de Respuesta de peces y en el Modelado hidráulico (ver la tabla 3).

Los modelos de nivel 2D son apropiados para diferentes escalas desde una unidad geomórfica hasta diferentes alcances, se ha convertido en un enfoque preferido en la estudios ecohidráulicos comprendiendo los parámetros hidráulicos fundamentales (Entwistle et al., 2019). Sanz-Ramos et al. (2019) dicen que los modelos bidimensionales (2D) proporcionan alto grado de precisión tanto en tramos con en la longitud total de un río.

Tabla 3. Niveles de simulación computación con respecto a temas en ecohidráulica

Nivel de simulación	Tema de simulación								Cantidad
	E	M	Mh	Rf	Rv	Rp	Rhf	Tf	
Individual									
1D			2			1	2		5
Cuasi 2D					1			1	2
2D			6	1			9		16
3D		1	2			4			7
Combinado									
1D y 2D			1	1		2			4
1D con cuasi 2D			1						1
Cuasi 2D y 2D			1						1
Total	0	1	13	2	1	7	11	1	36

Todos los modelos individuales o combinados llegan a un fin común, la simulación del hábitat fluvial. Este tipo de simulación permite evaluar, en un área específica, la calidad y cantidad de hábitat de una especie (Melcher et al., 2018). Un método específico utilizado es el de idoneidad del hábitat, donde atributos físicos de tipo hidráulico (profundidad del agua, velocidad, sustrato, turbiedad, etc) se relacionan con índices de calidad de hábitat (idoneidad) (Moniz et al., 2019). Esta relación se presentó de forma directa, donde los autores relacionaban los atributos físicos de tipo hidráulico con valores de referencias de Curvas de Idoneidad de Hábitat (CIH), muy usual en peces. Otra relación con la ecología es indirecta, donde los autores determinaron un índice e hicieron la relación con estos valores. Cuando el autor no relacionaba de forma directa e indirecta, asimilaba las características, propiedades, configuración, constitución de la especie con la calidad del hábitat. Según el alcance de estudio, el 41.25% de las publicaciones utilizaron algún tipo de índice del hábitat. Los principales índices son:

Índice del Sustrato del Canal (ISC), Cobertura de la Cubierta Vegetal (CCV), Índice de Funcionalidad Sostenible (IFS), Escalas Físicas del Hábitat (EFA), Índice de Conectividad del Hábitat (ICH), Índice de Diversidad Hidromorfológica (IDHM), Hábitat Potencial Útil (HPU), Hábitat Potencial Hidráulico (HPH), Idoneidad del Hábitat Físico (IHF), Índice de Idoneidad del Hábitat (IIH), Área Utilizable Ponderada (AUP), Hábitat Aguas Lentas Poco Profundas (HALPP),

Índice LIFE-CR: Lotic-Invertebrate Index for Flow Evaluation. En la figura 3 se muestran los grupos específicos de estudio, con los respectivos índices que se aplicaron y cuando no se usaron, las otras relaciones con el hábitat. En la siguiente figura se muestra la clasificación de los índices de acuerdo a al hábitat y las relaciones más importantes de la especie, ecosistema u otro con el hábitat fluvial.

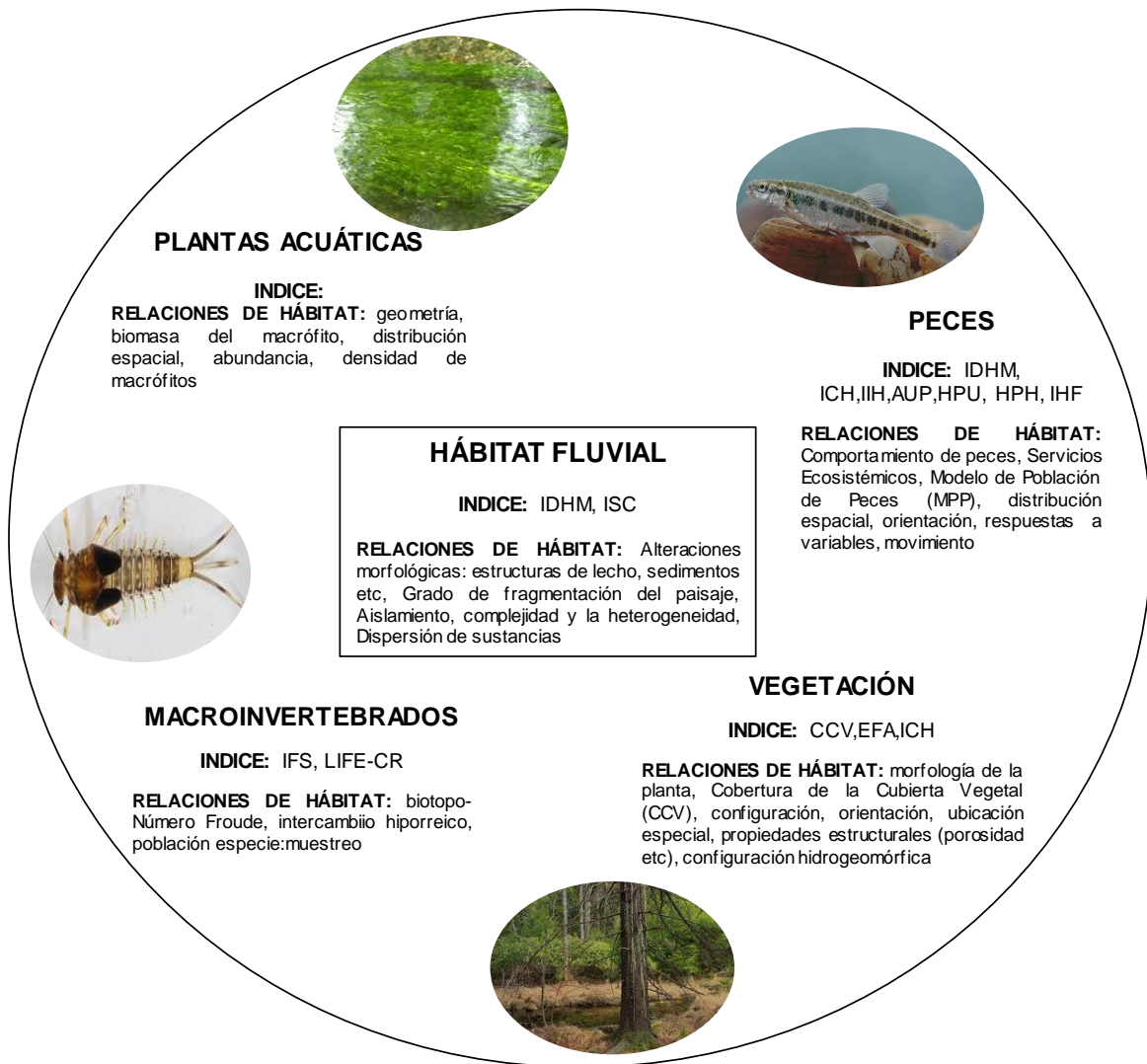


Figura 3. Principales índices y otras relaciones con el hábitat.

En la tabla 4 se muestra la clasificación de las distintas ayudas computacionales de acuerdo con su funcionalidad. Las agrupaciones son: SIG, otras herramientas, hidrodinámica, ecohidráulica, ecológica, estadística, manejo de datos, matemática y otro uso, se describe su licencia si es Comercial (C), Gratuito (G), Libre (L) y el nivel numérico reportado por los autores, de acuerdo

con su alcance, en unidimensional (1D), bidimensional (2D), tridimensional (3D). El Anexo 2 recoge los esquemas de las metodologías empleadas en algunas publicaciones para la realización de un modelo ecohidráulico. Por otro lado, la figura 4 esquematiza nuestra interpretación del estado de la modelación ecohidráulica que se desprende de esta revisión de literatura.

Tabla 4. Descripción y clasificación de las distintas ayudas computacionales usadas en modelación ecohidráulica

SIG	OTRA HERRAMIENTAS	HIDRODINÁMICO	ECOHIDRÁULICA	ECOLÓGICO	ESTADÍSTICO	MANEJO DE DATOS	MATEMÁTICO	OTRO
ArcGis (C)	Google Earth Pro (G)	SMS (C)- 2D	River Architect (L)- 2D	Fragstats (G)	Survival (C)	Tecplot 360 (C)	Cplex (C)	BN- HUGIN (costos)
QGIS (L)	GIS Python (C)	SRH-2D (G)-2D	Iberhabitat (L)- 2D	CASiMiR (G)	XLSTAT (C)	dplyr (L)		h2o (Proceso de redes neuronales artificiales)
Grass Gis (L)	Hec-GeoRAS (C)	Ansys Fluent (C)- 2D	River2D (G)-2D	Fastmech (C)	Rstudio (L)	Roracle (L)		Velocity Mapping Toolbox (visualizar las gráficas de velocidad)
		HEC-RAS (G) -1D	SEFA (C)- NE		Canoco(C)	RSQLite (L)		MarkTag y AcousticTag v5 (procesar velocidad del sonido)
		H2D2 (G)- NE	iRIC(G) - 2D		agricolae (L)	SAS (C)		Air2Stream (Modela temperatura)
		Mike11 (C)- 1D	Phabsim (G)-1D		IBM SPSS Statistics (C)	Hoboware (C)		Cosh-tool (costos)
		RivEX (C)-NE			Primer-e (C)			WinADV (proceso de archivos ADV)
		Basement (G)- 2D			SAS (C)			AutoCAD (dibujo de cuadrículas)
		Ansys-CFX (C)- 3D			Mark (G)			Kinect TM (Medición de batimetría9)
		Slugflow (DP)- NE			Minitab (C)			Paquete ggplot (realización curvas de hábitat)
		TUFLOW Clasice y GPU (C)- 2D						GNU(GIMP) (Edito de imágenes)

SIG	OTRA HERRAMIENTAS	HIDRODINÁMICO	ECOHIDRÁULICA	ECOLÓGICO	ESTADÍSTICO	MANEJO DE DATOS	MATEMÁTICO	OTRO
		Caesar-lisflood (G)- 2D						Agisoft Photoscan (unión de imágenes)
		Mike21 (C)- 2D						eCognition (claificación imágenes satelitales por objetos)
		Flow-3D (C)-3D						DJI Ground Station (planificación vuelos de VANT)
		OpenFOAM (G) - 3D						piafDigit (software digitación de árboles)
		HYDRO_AS-2D (C)- 2D						Logger Pro (C) (Procesamiento de rutas de peces)
		STAR-CCM + (C) - 3D						
		MIKE-FLOOD (C)- 1D y 2D						
		Iber (L)-2D						
		FishXing (G)- 1D						

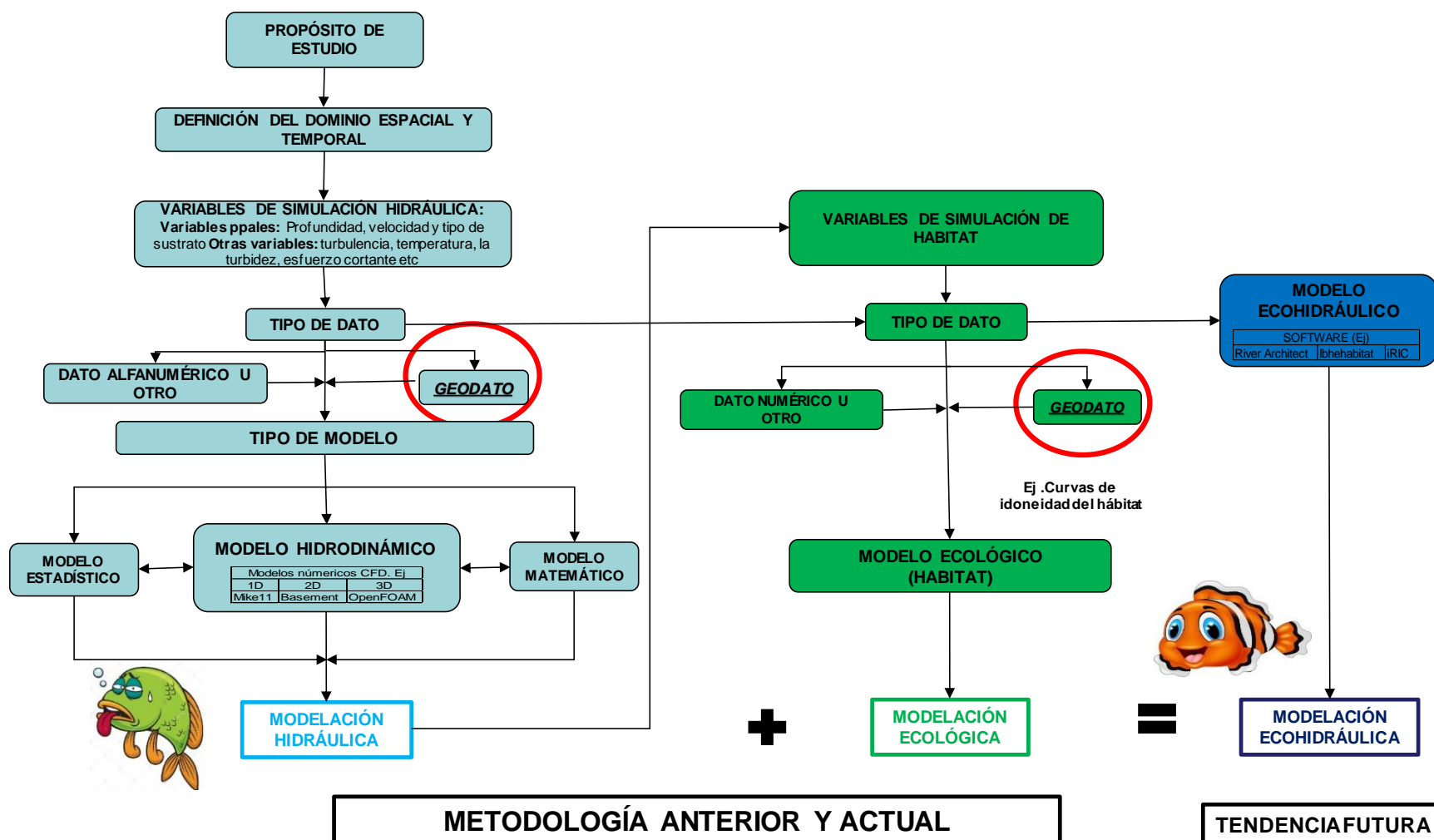


Figura 4. Esquema de los componentes principales de una simulación ecohidráulica.

3.4 Datos espaciales- Geodatos

3.4.1 Geodato hidrodinámico

La simulación ecohidráulica usa diferentes datos alfanuméricos y espaciales como geodatos de tipo hidráulico y ecológico. La mayoría de las variables requieren datos alfanuméricos, pero al posicionarlas espacialmente mediante un GPS se convierten en geodatos que pueden ser usados en cualquier SIG. Muchas observaciones y mediciones adquiridas como conjunto de datos distribuidos y georreferenciados se pueden representar como datos ráster en un SIG. Un dato ráster permite mostrar los datos en una matriz de celdas, cada celda representando un píxel con un dato almacenado.

En esta sección analizaremos las variables más usadas de tipo hidráulico por los distintos autores. De acuerdo con los enfoques y alcances de las publicaciones, las variables principales de simulación que tuvieron una mayor representación son la velocidad con un 40%, la profundidad del flujo con 35%, la temperatura con 17.5%, el tipo de sustrato y la turbiedad con 10%. Entwistle et al. (2019) consideran como los parámetros hidráulicos fundamentales la profundidad, velocidad y el esfuerzo cortante.

En cuanto a la variable velocidad, existen diferentes técnicas para medirla. Tuhtan et al. (2016) compararon las tecnologías de detección de flujo para estudios ecohidráulicos, entre ellas: ADV (Acoustic Doppler Velocity), ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), PIV/PTV (Particle Image Velocimetry/Particle Tracking Velocimetry), Hot Wire, LDV (Laser Doppler Velocimetry), LLP (Lateral Line Probe). También existen: UVP (Ultrasonic Velocity Profiling), Medidores de hélice etc. En algunas publicaciones, la variable alfanumérica de velocidad medida con una técnica diferente a la ADCP, se georreferenció con un equipo de posicionamiento permitiendo su uso como un geodato, o se usó sin ubicación para la calibración del modelo hidrodinámico.

De las publicaciones, el 32.5% usaron algún tipo de tecnología de medición de flujo. La tecnología ADV fue la más usada con un 38.46%, seguida de la ADCP con un 26.92%, el medidor hélice, medidor electromagnético, y la PIV con un 7.69%, y la LDA, LLP, UVP con un 3.85%. De estas técnicas, las mediciones con ADCP se presentaron como un geodato y las otras se presentaron como datos alfanuméricos, dado que el alcance del estudio y los posteriores procesamientos no requerían otro tipo de entrada.

Los ADCP proporcionan una representación multidimensional de la hidrodinámica y morfodinámica del río, combinando la medición de velocidad sobre la profundidad (batimetría), pero son datos brutos que deben procesarse mediante ayudas computacionales. Su uso en batimetría, se realiza de forma individual o combinada con otros equipos, dispositivos y técnicas.

Entre las técnicas individuales y combinadas para el levantamiento de la información batimétrica a una escala de microhábitat, Trinci et al. (2020) realizaron una batimetría y una topografía de una zona de estudio utilizando una estación total, mientras que Rajwa-Kuligiewicz et al. (2020) incluyeron un nivel de precisión para mejorar la calidad del dato a nivel vertical. Papadaki et al. (2017) hicieron la topografía con un GPS/GNSS. Todas las anteriores técnicas obtuvieron un TIN, DSM, DTM y DEM con una resolución espacial característica de 1m. La mayoría de estas técnicas se usaron en el estudio de estructuras hidráulicas, áreas y secciones pequeñas de río. Para aumentar los rendimientos en magnitudes mayores, Addo (2019) encontró una resolución espacial igual o mejor usando un Real Time Kinematic (RTK- GPS) combinado con un dispositivo de sonda que le permitió controlar la exactitud de las medidas de profundidad. Sandi et al (2016) presentan el uso de teledetección óptica mediante el sensor remoto activo LIDAR (Light Detection And Raging) tipo ALB (Airbone Lidar Bathymetry) y varios autores, buscando precisión de los datos y bases de calibración como Moniz et al. (2019) utilizaron adicionalmente ecosondas multihaz (usadas para zonas más profundas) y un GPS, permitiendo ampliar más la escala de medición, mejorar sustancialmente los rendimientos en campo en el levantamiento de la información y no disminuir la calidad de la información obtenida, manteniendo esta metodología resoluciones espaciales no mayores a 1m. A todas las metodologías anteriores se les incluyó por separado la medición de la variable velocidad con una técnica diferente a la ADCP.

Adeva-bustos et al. (2019) utilizaron en varios estudios un Perfilador de Corriente Acústico (ADCP) con un GPS diferencial integrado, combinándolo con un LIDAR ALB en una mayor escala de estudio, con el fin de comparar las dos técnicas. El LIDAR alcanzó precisiones del orden de 0.07 m para coordenadas planas, y de 0.03 a 0.04 m en una longitud de 19km, levantaron 1.518.500 puntos en un periodo de tiempo de 2 a 3 horas, con un rendimiento máximo y mínimo por longitud y puntos de 158m/min y 106m/min, 12654puntos/min y 8436puntos/min respectivamente, y la cantidad de 80 puntos/m, manteniendo una resolución espacial de 1m. El

ADCP permite su uso individual, o lo combina con otros equipos como el RTK-GPS, una estación total u otro que le permite puntos de control para mejorar la exactitud espacial.

Carbonneau et al. (2012) usaron imágenes de alta resolución y baja elevación, mapeando variables fluviales primarias (batimetría, tamaño de grano del sustrato, temperatura del agua) y variables hidráulica inferidas (velocidad). Pero estas técnicas son de alto costo, de difícil acceso en algunas zonas y para estudios a una escala mayor se convierten en una condición muy adversa para su uso. Hugue et al. (2016), a una escala de mesohábitat en una longitud de 17km, estimaron las profundidades del río Kaimika con niveles bajos de turbiedad mediante una imagen Worldview II geocorreccionada y ortorectificada (0.5 m en Pancromático y 2 m para multiespectral) y la calibraron con 115 profundidades tomadas con un DGPS (Differential Global Positioning System), estimando las profundidades relativas con una composición de la banda 6 (705-745nm) y la banda 2 (450-510nm) y encontrando en profundidades menores de 4m la desviación estándar de 0.25m, lo cual, para estudios de prefactibilidad y de una escala tipo mesohábitat, es una gran alternativa a considerar.

La adquisición de información de pequeña a gran escala usando teledetección con sensores de tipo activo y pasivo de mayor resolución espacial, tiene cada vez un uso mayor ecohidráulica. La teledetección aporta a la ecohidráulica información de la geomorfología fluvial, geometría hidráulica del canal, patrones de inundación y su relación hidráulica o hidrológica con la dinámica de la vegetación ribereña, coberturas de suelo, sustrato, estudio de características físicas y químicas del agua, caracterización de humedales y muchas otras ventajas.

Las publicaciones nos presentan el uso de teledetección con sensores activos para estudios de micro y mesohábitat, con diferentes utilidades entre ellas: el levantamiento de la batimetría de ríos con aguas poco profundas con un LIDAR ALB aéreo con un láser infrarrojo verde de longitud de onda de 1064nm (infrarrojo cercano), altura de vuelo de 600m; (Entwistle et al., 2019) utilizaron un LIDAR terrestre (TLS) o estacionario en el cual calibraron y validaron con un DGPS y obtuvieron un Modelo Digital de Terreno (MDT) para estimar la morfología de un río y la altura de la superficie de agua. Biggs et al. (2018) obtuvieron las propiedades geométricas de un río (área, longitud) y parches de macrófitas con imágenes georreferenciadas (tamaño de 4000 x 3000 píxeles) mediante un Vehículo Aéreo No tripulado (VANT) con una altitud de vuelo de 20m, con puntos de control con RTK-GPS. Con esta misma tecnología, con una altura de vuelo de 35m,

usando imágenes RGB Arif et al. (2016) mapearon el sustrato de un terreno ribereño. Los sensores remotos pasivos se usaron para diferentes escalas. En una escala de mesohábitat, Sandi et al. (2016) analizaron temporalmente la dinámica de vegetación de acuerdo con el régimen hidráulico, utilizando imágenes multiespectrales del sensor LANDSAT 5TM, 7 ETM y 8 con una resolución espacial de 30m; ya con una escala mayor (macrohábitat) (Laborde et al., 2020) utilizó un DEM de resolución espacial de 25m de la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM), para identificar unas unidades geográficas, redes de drenaje, estimar la longitud del río, el orden Strahler. Legleiter et al. (2019) combinaron los sensores remotos pasivos y activos para inferir estimaciones de concentración de un tinte con imágenes hiperespectrales de 35 bandas, con una longitud de onda entre los rangos 400 y 900nm, resolución espacial de 0.5m, obtenidas de un VANT con una altura de vuelo de 60m e imágenes multiespectrales (RGB color verdadero).

3.4.2 Geodato ecológico

En la fase de simulación ecológica del modelamiento ecohidráulico existen diversas metodologías para obtener un dato espacial del hábitat. Wang et al. (2020), por ejemplo, relacionaron tres periodos de vida (desove, alimentación e hibernación) de la especie *Parabramis pekinensis* con los valores de idoneidad y las variables de velocidad, profundidad, temperatura del agua y concentración de oxígeno. Esta distribución del hábitat depende de la conexión hidráulica, por lo tanto, espacialmente se generaron rásters de índices de conectividad hidráulica (ICH), a través de una fórmula que indicaba el área del parche, número de parches, densidad, porcentaje de área, conectividad y distancia más corta entre parches efectivos. Este índice lo relacionaron con la descarga del río.

En la tendencia de desarrollo de la disciplina, han surgido nuevas ayudas computacionales. Schwindt et al. (2020) presentan el programa River Architect para el diseño fluvial con unos interesantes módulos para el análisis ecohidráulico de la funcionalidad ecológica. El módulo de ecohidráulica y de ajuste morfológico genera unas medidas de eficiencia ecológica, los datos de entrada son unos ráster de tipo DEM y de profundidad a nivel freático. La salida es un ráster de Índice de Idoneidad del hábitat Compuesto (cHSI) que es el producto de la profundidad, la velocidad y la cobertura HSI (Índice de Idoneidad del Hábitat) para cada periodo, otros dos ráster de Área de Hábitat Utilizable (AHU) y de conectividad (mapas de riesgo de encallamiento de peces de acuerdo a la dirección de velocidad).

Para el análisis de vegetación, con el ingreso espacial de las variables esfuerzo de corte, profundidad del nivel freático, DEM, profundidad del flujo, velocidad, Número de Froude, tamaño del grano del sustrato, unidades morfológicas, pendiente y topografía, se presentan salida de tipo ráster de vida útil de la especie. Procedimiento muy similar presenta De-Miguel-Gallo et al. (2019) con la ayuda computacional de SEFA, usando las variables espaciales de entrada de velocidad, profundidad y sustrato para determinar el Índice de Idoneidad Compuesto (cHSI) y la Idoneidad Ponderada del Área de alcance (AWS), correspondiente al cHSI para cada celda multiplicada por el área de alcance.

Geoprocesando información de puntos, vectores y ráster, muchos autores usaron una ayuda computacional tipo SIG, la de mayor uso es el ArcGIS. Moniz et al. (2019) unificaron la información geoespacial tipo ráster de variables hidráulicas de velocidad, profundidad con el ráster de cobertura de HSI, presentando igualmente un ráster combinado o compuesto de cHSI que mediante bioverificación y pruebas estadísticas, sirvieron para evaluar el rendimiento del modelo de idoneidad de un microhábitat.

Determinar el Hábitat Aguas Lentas Poco Profundas (HALPP) fue uno de los objetivos de Anim et al. (2019), mediante un ráster de las métricas hidráulicas de velocidad y profundidad, usando un script de Phyton ArcGIS para ubicar celdas entre 0-0.2m/s y 0-0.3m respectivamente que son los valores óptimos para el hábitat de algunas especies de peces y Macroinvertebrados bentónicos. Igualmente, con datos georeferenciados de las variables de elevación, profundidad, velocidad y el esfuerzo cortante, Adeva-Bustos et al. (2019) extrajeron las Áreas Potenciales Adecuadas (APA) de hábitat preferido para el desove y de vivero del salmón atlántico juvenil, basándose en la literatura.

Meza Rodríguez et al. (2019), mediante la ayuda computacional ecohidráulica iRIC en su plataforma FastMECH en el módulo de Habitat Builder, ingresaron los geodatos tipo ráster producto de una interpolación tipo TIN de velocidad, profundidad y tipo de sustrato para estimar el Índice de Aptitud Combinada (IAC) y para cada variable el promedio de la idoneidad interpolada de las curvas de idoneidad de cada especie. La sumatoria de IAC por el área de la celda o pixel de simulación es igual al Hábitat Potencial Útil (HPU) y el Hábitat Potencial Hidráulico (HPH) que es HPU dividido entre el área del tramo del río.

La gran mayoría de los criterios que hemos nombrado anteriormente son para evaluar el hábitat físico de peces utilizando curvas de idoneidad y preferencia que normalmente se evalúan con dos valores numéricos: 1 (que significa alto grado de idoneidad y adecuación) y 0 (con bajo grado de idoneidad). Con IberHABITAT, Sanz-Ramos et al. (2019) determinaron la distribución de la Idoneidad del Hábitat Físico (IHF) y el Hábitat Potencial Útil (HPU), usando como variables de entrada las curvas de idoneidad para la profundidad y velocidad.

Biggs et al. (2018), mediante técnicas de teledetección con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), obtuvieron ortofotos georreferenciadas y calibradas. Con el apoyo del programa QGIS, obtuvieron la cobertura, parches, orientación, geometría y cubierta de la macrófita *R. penicillatus*, y relacionaron estos resultados con las variables de velocidad y profundidad para determinar las condiciones del hábitat de esta especie.

4. CONCLUSIONES

En la investigación ecohidráulica confluyen diferentes disciplinas y participan múltiples equipos de profesionales. La tendencia principal de esta revisión es la investigación a una escala de microhábitat de ríos y arroyos con ciertas especies de peces, vegetación ribereña, plantas acuáticas y macroinvertebrados, limitado a un ecosistema fluvial de un hábitat tan diverso. Esta orientación investigativa hace que se presente la misma relación con los temáticas principales, donde la restauración de peces ocupa un espacio importante seguido de la respuesta física y el modelado hidráulico.

Muchos países desarrollan investigación de esta disciplina. Las experiencias en este campo se suelen compartir en un encuentro anual en el Simposio Internacional de Ecohidráulica. A nivel global, Europa (con el Reino Unido) y Norte América (con Estados Unidos), son las dos regiones que desarrollan la mayor producción investigativa en ecohidráulica.

La evolución de la ecohidráulica ha ido a la par con las ayudas computacionales. Los modelos iniciales en ecohidráulica era más físicos, con modelos hidrodinámicos de nivel unidimensional y se simulaba de forma separada el modelo hidrodinámico y el ecológico. La investigación actual tiene la tendencia al uso de modelos hidrodinámicos con un nivel numérico de simulación preferida de tipo bidimensional, con un aporte importante de los modelos estadísticos, pero con igual importancia y con tendencia al crecimiento de las ayudas computacionales ecohidráulicas como *River Architect*, *Iberhábitat*, *River2D*, *SEFA*, *iRIC* y *Phabsim*. Todos los modelos ecohidráulicos conducen a la simulación del hábitat. Algunos relacionan las variables hidráulicas a curvas de idoneidad del hábitat de una especie específica o estiman unos índices o relaciones que permiten importantes conclusiones en la interacción hidráulica y ecológica.

Todas las modelaciones físicas o con ayudas computacionales, sean de tipo hidrodinámico, ecológico o ecohidráulico, requieren de unas variables de entrada. Las variables alfanuméricas no son un geodato en su mayoría, pero si se georeferencian cumplen con la condición de entrada para un SIG. Esta condición es muy dependiente de varios factores, entre ellos el alcance del estudio. Por lo tanto, en varias publicaciones no fue usual esta georeferenciación. Para obtener la

información concreta de la variable de velocidad, las técnicas más usadas son el ADV (como dato alfanumérico) y ADCP con GPS incorporado (geodato) pero esta última se usó individualmente o con otras metodologías como teledetección mediante sensores remotos de tipo activo como LIDAR (ALB), que permitieron una medición de otra variable de análisis como la profundidad, siendo este un geodato importante para la obtención de la hidrogeomorfología de un río.

Para la batimetría se usaron diferentes técnicas, desde convencionales con el uso de estación total y nivel de precisión, RTK-GPS e igualmente LIDAR (ALB) con ecosondas o GPS para la calibración, hasta sensores remotos pasivos como Worldview II con precisiones menores.

Para algunos enfoques de estudio, la teledetección es una técnica muy importante y variada para la obtención de información de entrada en la modelación ecohidráulica, donde esta herramienta espacial pone a disposición del investigador múltiples plataformas, métodos de detección de imágenes con diferentes calidades y usos. En batimetría de microhábitat, su constante avance ha permitido mejores precisiones, pero hasta el momento, se acerca pero no iguala a las técnicas convencionales. Adicionalmente requiere de procedimientos de calibración y no las reemplaza en su totalidad cuando el alcance de estudio lo exige.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Addo, Louis. 2019. “The Effects of Short-Term Regulation on Habitat Conditions of Brown Trout, *Salmo Trutta* in the Lowermost Part of River Kalajoki and Possibilities for Mitigation.” (December).
- Adeva-bustos, Ana, Knut Alfredsen, Hans-petter Petter Fjeldstad, and Kenneth Ottosson. 2019. “Ecohydraulic Modelling to Support Fish Habitat Restoration Measures.” *Sustainability (Switzerland)* 11(5).
- Adeva-Bustos, Ana, Knut Alfredsen, Hans Petter Fjeldstad, and Kenneth Ottosson. 2019. “Ecohydraulic Modelling to Support Fish Habitat Restoration Measures.” *Sustainability (Switzerland)* 11(5).
- Anim, Desmond O. et al. 2019. “How Alternative Urban Stream Channel Designs Influence Ecohydraulic Conditions.” *Journal of Environmental Management* 247(February): 242–52.
- Arif, Mohammad Shafi M. et al. 2016. “An Investigation of Image Processing Techniques for Substrate Classification Based on Dominant Grain Size Using RGB Images from UAV.” *International Journal of Remote Sensing* 38(8–10): 2639–61. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1249309>.
- Biggs, H. J. et al. 2018. “Coupling Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Hydraulic Surveys to Study the Geometry and Spatial Distribution of Aquatic Macrophytes.” *Journal of Ecohydraulics* 3(1): 45–58. <https://doi.org/10.1080/24705357.2018.1466666>.
- Bratrich, Christine et al. 2004. “Green Hydropower: A New Assessment Procedure for River Management.” *River Research and Applications* 20(7): 865–82.
- Brewer, Shannon K., Thomas A. Worthington, et al. 2018. 11 Ecohydrology Synthesizing Models Useful for Ecohydrology and Ecohydraulic Approaches: An Emphasis on Integrating Models to Address Complex Research Questions.
- Brewer, Shannon K., David R. Stewart, et al. 2018. “Synthesizing Models Useful for Ecohydrology and Ecohydraulic Approaches: An Emphasis on Integrating Models to Address Complex Research Questions.” *Ecohydrology* 11(7): 1–26.
- Carbonneau, Patrice, Mark A. Fonstad, W. Andrew Marcus, and Stephen J. Dugdale. 2012. “Making Riverscapes Real.” *Geomorphology* 137(1): 74–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.09.030>.
- Casas-Mulet, Roser et al. 2016. “Two Decades of Ecohydraulics: Trends of an Emerging Interdiscipline.” *Journal of Ecohydraulics* 1(1–2): 16–30. <http://dx.doi.org/10.1080/24705357.2016.1251296>.

- De-Miguel-Gallo, M. et al. 2019. "Habitat Evaluation for the Endangered Fish Species Lefua Echigonia in the Yagawa River, Japan ." *Journal of Ecohydraulics* 4(2): 147–57. <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1614886>.
- Entwistle, Neil, George Heritage, and David Milan. 2019. "Ecohydraulic Modelling of Anabranching Rivers." *River Research and Applications* 35(4): 353–64.
- Gosselin, Marie-Pierre, Valérie Ouellet, Atle Harby, and John Nestler. 2019. "Advancing Ecohydraulics and Ecohydrology by Clarifying the Role of Their Component Interdisciplines." *Journal of Ecohydraulics* 4(2): 172–87. <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1658137>.
- Herausgegeben, Wasserwirtschaft, Peter Rutschmann Nr, and Weiwei Yao. 2016. "Application of the Ecohydraulic Model on Hydraulic and Water Resources Engineering." (136). <https://www.wb.bgu.tum.de/fileadmin/w00boi/www/Publikationen/Berichtshefte/Band136.pdf>.
- Huggett, Richard John. 2004. *Fundamentals of Biogeography*, Second Edition.
- Hugue, F., M. Lapointe, B. C. Eaton, and A. Lepoutre. 2016. "Satellite-Based Remote Sensing of Running Water Habitats at Large Riverscape Scales: Tools to Analyze Habitat Heterogeneity for River Ecosystem Management." *Geomorphology* 253: 353–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.025>.
- Ian Maddock, Atle Harby, Paul Kemp, Paul J. Wood et al. 2013. "Ecohydraulics. An Integrated Approach." John Wiley & Sons.
- Jacobs, C H M Hill et al. 2018. "Preliminary Evaluation of the EIS Wapatox Option."
- Juan, José, and Arranz Justel. 2010. "Modelos Digitales Del Terreno Febrero 2010." : 1–25.
- Laborde, A., E. Habit, O. Link, and P. Kemp. 2020. "Strategic Methodology to Set Priorities for Sustainable Hydropower Development in a Biodiversity Hotspot." *Science of the Total Environment* 714: 136735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136735>.
- Legleiter, Carl J. et al. 2019. "Remote Sensing of Tracer Dye Concentrations to Support Dispersion Studies in River Channels." *Journal of Ecohydraulics* 4(2): 131–46. <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1662339>.
- Melcher, Andreas, Christoph Hauer, and Bernhard Zeiringer. 2018. "Aquatic Habitat Modeling in Running Waters." *Riverine Ecosystem Management*: 129–49.
- Meza Rodríguez, Demetrio, Luis Manuel Martínez Rivera, José Luis Olguín López, and Ángel Aguirre García. 2019. "Simulation of Physical Habitat in Ayuquila-Armeria River in the West of Mexico." *Ciencia e Ingeniería Neogradina* 29(2): 53–68.
- Moniz, Peter J. et al. 2019. "Do Rearing Salmonids Predictably Occupy Physical Microhabitat?" *Journal of Ecohydraulics* 0(0): 1–19. <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1696717>.

- Mouton, Ans, and Alte Harby. 2017. "Ecohydraulic Case Studies: Interdisciplinarity and Technological Evolutions." *Limnologica* 62: 140–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.limno.2017.03.001>.
- Nestler, John M. et al. 2016. "Ecohydraulics Exemplifies the Emerging 'Paradigm of the Interdisciplines.'" *Journal of Ecohydraulics* 1(1–2): 5–15. <https://doi.org/10.1080/24705357.2016.1229142>.
- Oliveira, Iara De C.E. et al. 2016. "One-and Two-Dimensional Ecohydraulic Modeling of Formoso River (MG)." *Engenharia Agricola* 36(6): 1050–62.
- Papadaki, Christina, Vasilis Bellos, Lazaros Ntoanidis, and Elias Dimitriou. 2017. "Comparison of West Balkan Adult Trout Habitat Predictions Using a Pseudo-2D and a 2D Hydrodynamic Model." *Hydrology Research* 48(6): 1697–1709.
- Rajwa-Kuligiewicz, Agnieszka et al. 2020. "Hydromorphologically-Driven Variability of Thermal and Oxygen Conditions at the Block Ramp Hydraulic Structure: The Porębianka River, Polish Carpathians." *Science of the Total Environment* 713: 136661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136661>.
- Sandi, Steven G, Jose F Rodriguez, and Patricia M Saco. 2016. "Linking Hydraulic Regime Characteristics to Vegetation Status in the Macquarie Marshes." *Linking Hydraulic Regime Characteristics to Vegetation Status in the Macquarie Marshes*: 218–25.
- Sanz-Ramos, Marcos et al. 2019. "IberHABITAT: Evaluación de La Idoneidad Del Hábitat Físico y Del Hábitat Potencial Útil Para Peces. Aplicación En El Río Eume." *Ribagua* 6(2): 158–67. <https://doi.org/10.1080/23863781.2019.1664273>.
- Schwindt, Sebastian, Kenneth Larrieu, Gregory B. Pasternack, and Geoff Rabone. 2020. "River Architect." *SoftwareX* 11: 100438. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100438>.
- Trinci, G. et al. 2020. "Turbulence, Instream Wood and Fish: Ecohydraulic Interactions under Field Conditions." *Ecohydrology*: 0–1.
- Tuhtan, Jeffrey A., Juan Francisco Fuentes-Perez, Gert Toming, and Maarja Kruusmaa. 2016. "Flow Velocity Estimation Using a Fish-Shaped Lateral Line Probe with Product-Moment Correlation Features and a Neural Network." *Flow Measurement and Instrumentation* 54(October 2016): 1–8.
- Vaughan, I.P. 2007. "Integrating Ecology with Hydromorphology: A Priority for River Science and Management." *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 656(October 2006): 636–56.
- Wang, Li et al. 2020. "Incorporating Fish Habitat Requirements of the Complete Life Cycle into Ecological Flow Regime Estimation of Rivers." *Ecohydrology* 2025(November 2019).
- Yao, Weiwei. 2020. "Ecohydraulic Model Development and Application : Evaluating." *Global Ecology and Conservation*: e01060. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01060>.

6. ANEXOS

Anexo 1. Listado de publicaciones consultadas y enlaces de acceso en internet

Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
1	Ismail Albayrak, Robert M. Boes, Carl Robert Kriewitz-Byun, Armin Peter & Blake P. Tullis	Fish guidance structures: hydraulic performance and fish guidance efficiencies	2020	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1677181
2	Belize Lanea, J. Pablo Ortiz-Partidab, Samuel Sandoval-Solis	Extending water resources performance metrics to river ecosystems	2020	https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106336
3	Li Wang, Qiuwen Chen, Jianyun Zhang, Jun Xia, Kangle Mo, Jun Wang	Incorporating fish habitat requirements of the complete life cycle into ecological flow regime estimation of rivers	2020	https://doi.org/10.1002/eco.2204
4	Daniella Montali-Ashwortha, Andrew S. Vowlesa, Gustavo de Almeida, Paul S. Kempa	Use of Cylindrical Bristle Clusters as a novel multispecies fish pass to facilitate upstream movement at gauging weirs	2020	https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105634
5	Hersilia A. Santos, Etienne Dupont, Francisco Aracena, Joseph Dvorak, Abgail Pinheiro, Matheus Teotonio & Ablail Paula	Stairs pipe culverts: flow simulations and implications for the passage of European and Neotropical fishes	2020	https://doi.org/10.1080/24705357.2020.1713918
6	Yao, Weiwei	Ecohydraulic model development and application: Evaluating the habitats and population of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), brown trout (<i>Salmo trutta</i>), and flannelmouth sucker (<i>Catostomus latipinnis</i>) in Colorado River	2020	https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01060
7	G. Trinci, G. L. Harvey, A. Henshaw, W. Betoldi, and F. Hölker	Turbulence, instream wood and fish: ecohydraulic interactions under field conditions	2020	https://doi.org/10.1002/eco.2211
8	A. Laborde a, E. Habit a, O. Link b, P. Kempc	Strategic methodology to set priorities for sustainable hydropower development in a biodiversity hotspot	2020	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136735
9	David N. Barton, Håkon Sundt , Ana Adeva Bustos, Hans-Petter Fjeldstad Richard Hedger c, Torbjørn Forseth c, Berit K�ohler d, Øystein Aas d, Knut Alfredsen e, Anders L. Madsen	Multi-criteria decision analysis in Bayesian networks - Diagnosing ecosystem service trade-offs in a hydropower regulated river	2020	https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104604
10	Heidi Kammerlandera, Lisa Schlosserb, Bernhard Zeiringerc, Günther Unferc, Achim Zeileisb, Markus Auflegera	Downstream passage behavior of potamodromous fishes at the fish protection and guidance system “Flexible Fish Fence	2020	https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105698
11	Helen A. L. Currie, Paul R. White, Timothy G. Leighton, and Paul S. Kemp	Group behavior and tolerance of Eurasian minnow (<i>Phoxinus phoxinus</i>) in response to tones of differing pulse repetition rate	2020	doi: 10.1121/10.0000910
12	Qidong Lin, Jinxi Song , Carlo Gualtieri , Dandong Cheng , Ping Su , Xinxin Wang , Jiayu Fu and Jianglin Peng	Effect of Hyporheic Exchange on Macroinvertebrate Community in the Weihe River Basin, China	2020	Water 2020, 12, 457; doi:10.3390/w12020457

Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
13	Adam T. Pipera, Paula J. Rosewarne, Rosalind M. Wright, Paul S. Kemp	Using 'trap and transport' to facilitate seaward migration of landlocked European eel (<i>Anguilla anguilla</i>) from lakes and reservoirs	2020	https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105567
14	Guillaume Guenard, Ph. D Jean Morin, Ph. D Pascal Matte, Ph. D Yves Secretan, PhD Eliane Valiquette, M. Sc Marc Mingelbier, Ph. D	Deep learning habitat modeling for moving organisms in rapidly changing estuarine environments: A case of two fishes	2020	https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106713
15	Andrew W. Tranmer, Dana Weigel, Clelia L. Marti, Dmitri Videgar, Rohan Benjankar, Daniele Tonina, Peter Goodwin, Jorg Imberger	Coupled reservoir-river systems: Lessons from an integrated aquatic ecosystem assessment	2020	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110107
16	Agnieszka Rajwa-Kuligiewicz, Artur Radecki-Pawlik, Tomasz Skalski, Karol Plesiński, Paweł M. Rowiński, J. Russell Manson	Hydromorphologically-driven variability of thermal and oxygen conditions at the block ramp hydraulic structure: The Porębianka River, Polish Carpathians	2020	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136661
17	Jesse R. O'Hanley, Paulo S. Pompeuc, Marina Louzadac, Ludimilla P. Zambalid, Paul S. Kempe	Optimizing hydropower dam location and removal in the São Francisco river basin, Brazil to balance hydropower and river biodiversity tradeoffs	2020	https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103725
18	Paolo Tamagnone, Elena Comino, Maurizio Rosso	Landscape Metrics Integrated in Hydraulic Modeling for River Restoration Planning	2020	https://doi.org/10.1007/s10666-020-09693-y
19	Sebastian Schwindt, Kenneth Larrieu, Gregory B. Pasternack, Geoff Rabone	River Architect	2020	https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100438
20	Neil J. Mochnacz, Haitham K. Ghamry, Eva C. Enders, Douglas A. Watkinson, Colin P. Gallagher, James D. Reist	Flow and spawning habitat relationships for Dolly Varden: Understanding habitat–population dynamics in the Canadian Western Arctic	2019	DOI: 10.1002/rra.3547
21	Carlo Gualtieri, Reza Abdi, Marco Ianniruberto, Naziano Filizola, Theodore A. Endreny Department	A 3D analysis of spatial habitat metrics about the confluence of Negro and Solimões rivers, Brazil	2019	DOI: 10.1002/eco.2166
22	Abul Basar M. Baki, David Z. Zhu, Andrew Harwood, Adam Lewis & Katie Healey	Hydraulic design aspects of rock-weir fishways with notch for habitat connectivity	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1652706
23	Carl J. Legleiter, Richard R. McDonald, Jonathan M. Nelson, Paul J. Kinzel, Ryan L. Perroy, Donghae Baek & Il Won Seo	Remote sensing of tracer dye concentrations to support dispersion studies in river channels	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1662339
24	Jinlong Liu, Giri Kattel, Zhongjing Wang & Mengzhen Xu	Artificial fishways and their performances in China's regulated river systems: a historical synthesis	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1644977
25	M. De-Miguel-Gallo, F. Martínez-Capel, R. Muñoz-Mas, S. Aihara, Y. Matsuzawa & S. Fukuda	Habitat evaluation for the endangered fish species <i>Lefua echigonia</i> in the Yagawa River, Japan	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1614886
26	H. J. Biggs, V. I. Nikora, C. N. Gibbins, S. M. Cameron, K. Papadopoulos, M. Stewart, S. Fraser, D. Vettori, M. Savio, M. T. O'Hare, M. Kucher & D. M. Hicks	Flow interactions with an aquatic macrophyte: a field study using stereoscopic particle image velocimetry	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1606677
27	Tim Marsden & Ivor Stuart	Fish passage developments for small-bodied tropical fish: field case-studies lead to technology improvements	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1646616

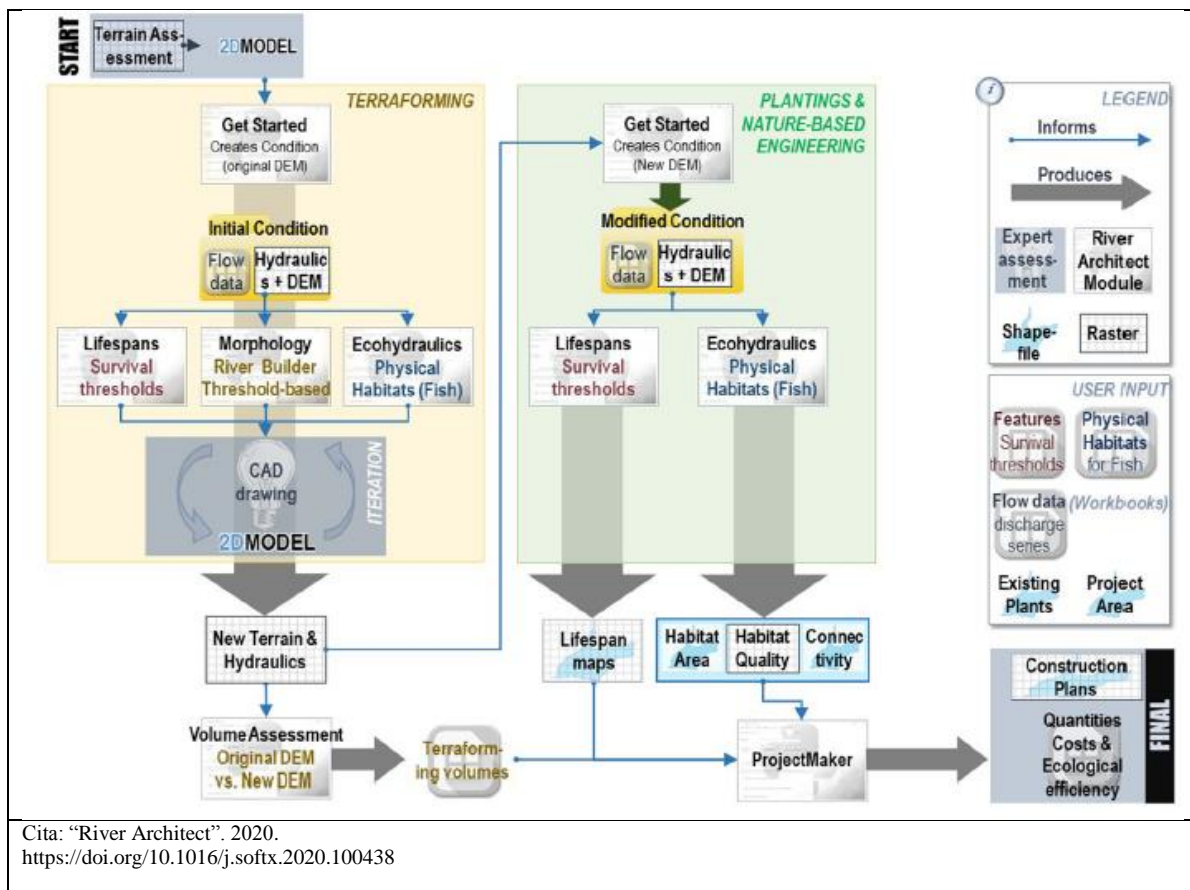
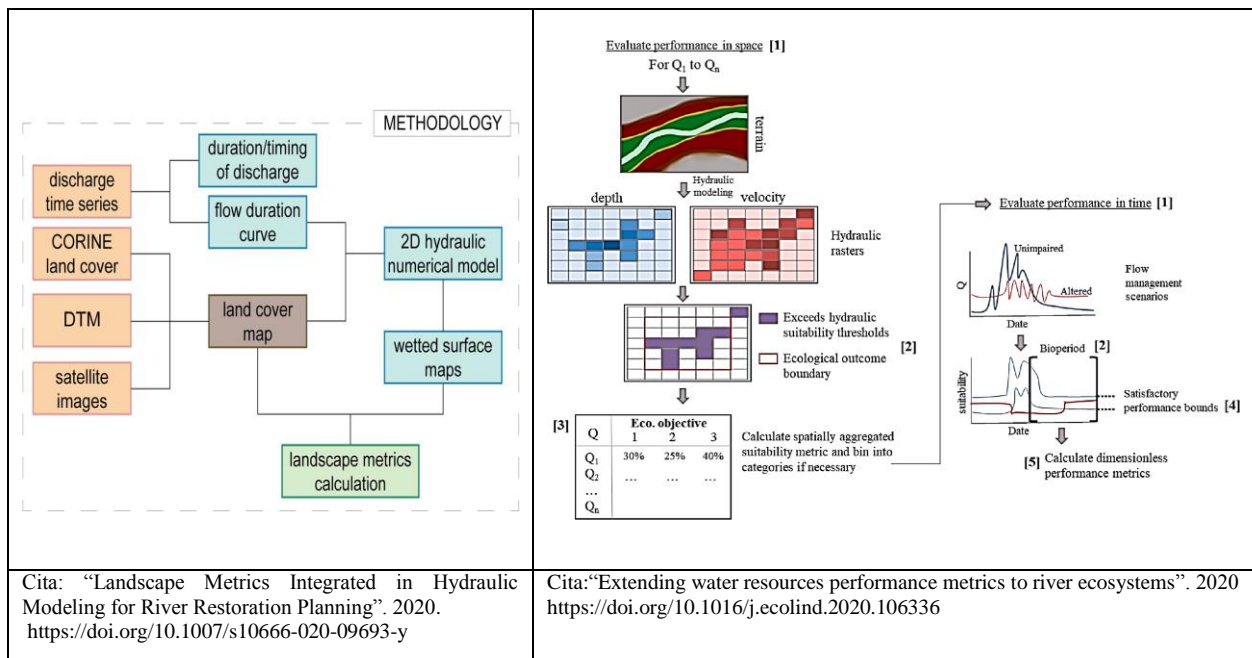
Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
28	CLAUDIA FIORELLA CHÁVEZ CÉSPEDES, SERGIO BRIAN LARA CAMARENA	Revisión de la literatura y planteamiento del caudal ecológico en el río Chancay-Lambayeque con uso de métodos de enfoque hidrológico y eco-hidráulico	2019	http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14761
29	Leandro Fernandes Celestino, Francisco Javier Sanz-Ronda, Leandro Esteban Miranda, Maristela Cavicchioli Makrakis, João Henrique Pinheiro Dias, Sergio Makrakis	Bidirectional connectivity via fish ladders in a large Neotropical river	2019	10.1002/rra.3404
30	Peter J. Moniz, Gregory B. Pasternack, Duane A. Massa, Loren W. Stearman & Paul M. Bratovich	Do rearing salmonids predictably occupy physical microhabitat?	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1696717
31	Mary L. Moser, Steve C. Corbett, Matthew L. Keefer, Kinsey E. Frick, Siena Lopez-Johnston & Christopher C. Caudill	Novel fishway entrance modifications for Pacific lamprey	2019	10.1080/24705357.2019.1604090
32	Bhagya Nallaperuma & Takashi Asaeda	Long-term changes in riparian forest cover under a dam-induced flow scheme: the accompanying a numerical modelling perspective	2019	10.1080/24705357.2019.1663714
33	Desmond O. Anim, Tim D. Fletcher, Geoff J. Vietz, Matthew J. Burns, Gregory B. Pasternack	How alternative urban stream channel designs influence ecohydraulic conditions	2019	https://doi.org/10.1016/j.jenvm.2019.06.095
34	Neil Entwistle, George Heritage, David Milan	Ecohydraulic modelling of anabranching rivers	2019	10.1002/rra.3413
35	Rohan Benjankar, Daniele Tonina, James A. McKean, Mohammad M. Sohrabi, Qiuwen Chen and Dmitri Videgar	An ecohydraulics virtual watershed: integrating physical and biological variables to quantify aquatic habitat quality	2019	10.1002/eco.2062
36	Diego Correa Alves, Lilian Paula Vasconcelos, Luis Fernando da Camara, Lisiane Hahn , Angelo Antonio Agostinho	Protocol for the assessment of mortality and injuries in fish larvae associated with their downstream passage through hydropower dams	2019	https://doi.org/10.1007/s11160-019-09564-0
37	Ana Adeva-Bustos, Knut Alfredsen , Hans-Petter Fjeldstad and Kenneth Ottosson	Ecohydraulic Modelling to Support Fish Habitat Restoration Measures	2019	10.3390/su11051500 www.
38	Adam T. Piper, Paul R. White, Rosalind M. Wright, Timothy G. Leighton, Paul S. Kemp	Response of seaward-migrating European eel (<i>Anguilla anguilla</i>) to an infrasound deterrent	2019	https://doi.org/10.1016/j.ecolen.2018.12.001
39	John H. Harris, David T. Roberts, Steven O'Brien, Brent Mefford & Kris S. Pitman	A trap-and-haul fishway for upstream transfers of migrating fish at a challenging dam site	2019	10.1080/24705357.2019.1669080
40	Nolan Chalmers Platt	DESIGNING AND ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF DENIL FISHWAYS USING HYDRAULIC MODELING-BASED APPROACHES	2019	https://scholarworks.montana.edu/xmlui/handle/1/15559
41	Louis Addo	The effects of short-term regulation on habitat conditions of brown trout, <i>Salmo trutta</i> in the lowermost part of River Kalajoki and possibilities for mitigation	2019	http://jultika.oulu.fi/Record/nbnfioulu-201912193360
42	Eva C. Enders, Colin Charles, Douglas A. Watkinson, Colin Kovachik, Douglas R. Leroux, Henry Hansen and Mark A. Pegg	Analysing Habitat Connectivity and Home Ranges of Bigmouth Bu alo and Channel Catfish Using a Large-Scale Acoustic Receiver Network	2019	10.3390/su11113051
43	Van Hieu Bui , Minh Duc Bui and Peter Rutschmann	Advanced Numerical Modeling of Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers	2019	10.3390/w11030550

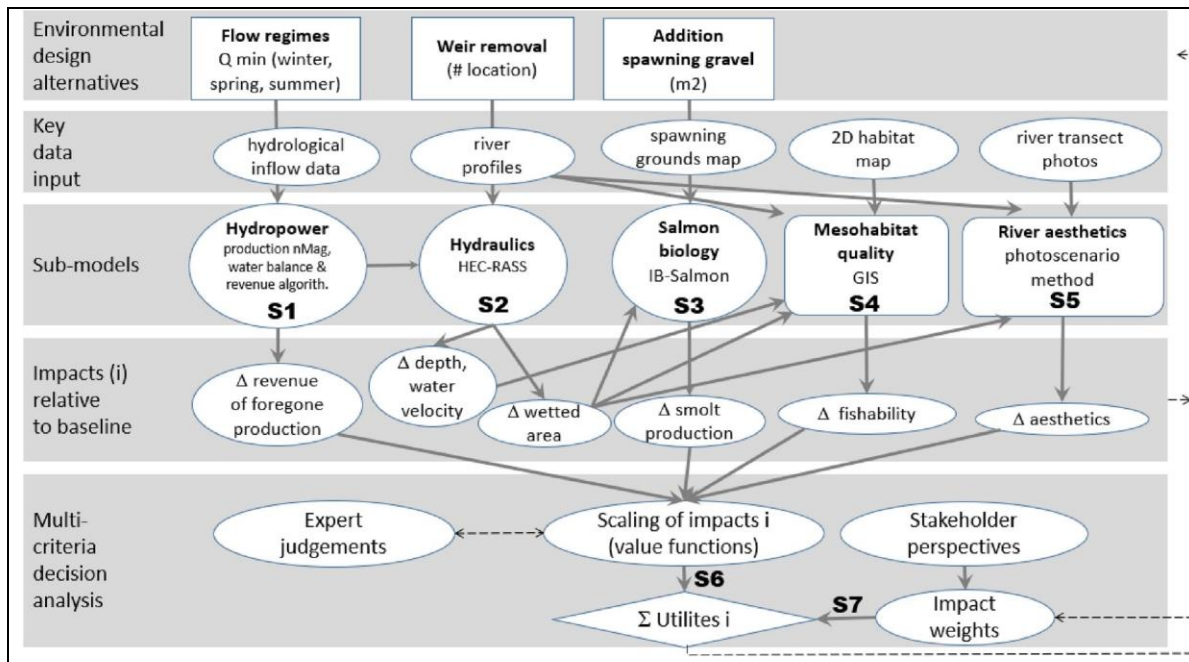
Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
44	STEFAN GRONSDAHL	Effects of logging on summertime low flows and fish habitat in small, snowmelt-dominant catchments of the Pacific Northwest	2019	https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0376236
45	Francisco Javier Sanz-Ronda , Francisco Javier Bravo-Córdoba, Ana Sánchez-Pérez, Ana García-Vega, Jorge Valbuena-Castro, Leandro Fernandes-Celestino, Mar Torralva and Francisco José Oliva-Paterna	Passage Performance of Technical Pool-Type Fishways for Potamodromous Cyprinids: Novel Experiences in Semiarid Environments	2019	10.3390/w11112362
46	Jorge E. San Juan, Gerardo Veliz Carrillo, Rafael O. Tinoco	Experimental observations of 3D flow alterations by vegetation under oscillatory flows	2019	https://doi.org/10.1007/s10652-019-09672-2
47	Ana Adeva-Bustosa, Richard David Hedger, Hans-Petter Fjeldstad, Morten Stickler, Knut Alfredsen	Identification of salmon population bottlenecks from low flows in a hydroregulated river	2019	https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104494
48	David R. Dockery, Erin Ryan, Kevin M. Kappenman & Matt Blank	Swimming performance of Arctic grayling (<i>Thymallus arcticus</i> Pallas) in an open-channel flume	2019	10.1080/24705357.2019.1599306
49	Ana Juárez, Ana Adeva-Bustos, Knut Alfredsen and Bjørn Otto Dønnum	Performance of A Two-Dimensional Hydraulic Model for the Evaluation of Stranding Areas and Characterization of Rapid Fluctuations in Hydropeaking Rivers	2019	10.3390/w11020201
50	Piotr Parasiewicz, Paweł Prus, Christos Theodoropoulos, Knut Alfredsen, Mikołaj Adamczyk, Claudio Comoglio and Paolo Vezza	Environmental Flows Determination and Monitoring with Hydraulic Habitat Models—Pushing the Boundaries of Habitat Models Application	2019	10.3390/w11091950
51	NÉSTOR A. MANCIPE MUÑOZ, MARÍA FERNANDA RIAÑO NEIRA & LUSBY YUREY VIGOYA RODRÍGUEZ	ECO-HYDRAULIC MODEL FOR AUTO-DEPURATION ASSESSMENT IN RIVER ECOSYSTEMS	2019	10.3850/38WC092019-1489
52	Ian M. Hough, Philip H. Warren, James D. Shucksmith	Designing an environmental flow framework for impounded river systems through modelling of invertebrate habitat quality	2019	https://doi.org/10.1016/j.ecolin.d.2019.105445
53	Ghamry, H and Katopodis, C	ESTIMATION OF INSTREAM FLOW NEEDS FOR RIVERINE FISH AND FISH HABITAT IN LOW-SLOPE RIVERS	2019	https://www.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2019/pdfs/PaperPDFversion_49_0514040642.pdf
54	Daniela Guzzon Sanagiotto, Júlia Brusso Rossi and Juan Martín Bravo	Applications of Computational Fluid Dynamics in The Design and Rehabilitation of Nonstandard Vertical Slot Fishways	2019	10.3390/w11020199
55	Susana D. Amaral , Ana L. Quaresma , Paulo Branco, Filipe Romão, Christos Katopodis 3, Maria T. Ferreira 1, António N. Pinheiro 2 and José M. Santos	Assessment of Retrofitted Ramped Weirs to Improve Passage of Potamodromous Fish	2019	10.3390/w11122441
56	Marcell Szabo- Meszaros, Torbjørn Forseth, Henrik Baktoft, Hans- Petter Fjeldstad, Ana T. Silva, Karl Øystein Gjelland, Finn Økland, Ingebrigt Uglem, Knut Alfredsen	Modelling mitigation measures for smolt migration at dammed river sections	2019	https://doi.org/10.1002/eco.2131
57	Lu Caia, Yiqun Hou, Christos Katopodis, Da He, David Johnson, Peng Zhang,	Rheotaxis and swimming performance of Perch-barbel (<i>Percocypris pingi</i> , Tchang, 1930) and application to design of fishway entrances	2019	https://doi.org/10.1016/j.ecolen.g.2019.04.009

Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
58	Hossein Hamidifar, Alireza Keshavarzi, and Paweł M. Rowinski	Influence of Rigid Emerged Vegetation in a Channel Bend on Bed Topography and Flow Velocity Field: Laboratory Experiments	2019	10.3390/w12010118
59	FRANCISCO QUESADA ALVARADO	ESTIMACION DE CAUDALES AMBIENTALES UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA	2019	http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/80386
60	Ewelina SZALKIEWICZ, Tomasz DYSARZ, Tomasz KAŁUŻA, Albert MALINGER2& Artur RADECKI-PAWLIK	ANALYSIS OF IN-STREAM RESTORATION STRUCTURES IMPACT ON HYDRAULIC CONDITION AND SEDIMENTATION IN THE FLINTA RIVER, POLAND	2019	10.26471/cjees/2019/014/079
61	Demetrio Meza Rodríguez, Luis Manuel Martínez Rivera, José Luis Olguín López, Ángel Aguirre Garcia	Simulation of physical habitat in Ayuquila-Armeria river in the west of Mexico	2019	https://doi.org/10.18359/rcin.3128
62	Marcos Sanz-Ramos, Ernest Bladé Castellet, Antoni Palau Ibars, Damià Vericat Querol & Anais Ramos-Fuertes	IberHABITAT: evaluación de la Idoneidad del Hábitat Físico y del Hábitat Potencial Útil para peces. Aplicación en el río Eume	2019	https://doi.org/10.1080/23863781.2019.1664273
63	Daniel Rasche, Christian Reinhardt-Imjela, Achim Schulte, and Robert Wenzel	Hydrodynamic simulation of the effects of stable in-channel large wood on the flood hydrographs of a low mountain range creek, Ore Mountains, Germany	2019	https://doi.org/10.5194/hess-23-4349-2019
64	Richard J. Boothroyd, Richard J. Hardy, Jeff Warburton & Timothy I. Marjoribanks	The importance of riparian plant orientation in river flow: implications for flow structures and drag	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1573648
65	Severin St€ahly, Walter Gostner, M ario J. Franca, Christopher T. Robinson, Anton J. Schleiss	Sampling sufficiency for determining hydraulic habitat diversity	2019	https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1576021
66	RICHARD I. WILSON, HEIDE FRIEDRICH, CRAIG STEVENS	USING NOVEL PHOTOMETRIC TECHNIQUES FOR INVESTIGATION OF ECOHYDRAULIC SEDIMENTATION PROCESSES: TURBIDITY CURRENTS	2018	https://www.researchgate.net/publication/334643987_Using_novel_photometric_techniques_for_investigation_of_ecohydraulic_sedimentation_processes_Turbidity_currents
67	Mark Juras, Lindsey K. Albertson, Joel Cahoon, Erick Johnson	Incorporating macroinvertebrate biological structures into gravel-bedded stream fluid dynamics using 3D CFD modelling	2018	https://doi.org/10.1016/j.ecolen.2018.05.011
68	H. J. Biggs, V. I. Nikora, C. N. Gibbins, S. Fraser, D. R. Green, K. Papadopoulos & D. M. Hicks	Coupling Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and hydraulic surveys to study the geometry and spatial distribution of aquatic macrophytes	2018	https://doi.org/10.1080/24705357.2018.1466666
69	Paul Anders, Kevin Ceder, Rocko Brown, Phil Roni and Steve Cramer	TIETON RIVER FISHERIES INVESTIGATION	2018	https://www.researchgate.net/publication/328642521_TIETON_RIVER_FISHERIES_INVESTIGATION_Preliminary_Evaluation_of_the_EIS_Wapatox_Option
70	Christina Papadaki, Vasilis Bellos, Lazaros Ntoanidis and Elias Dimitriou	Comparison of West Balkan adult trout habitat predictions using a Pseudo-2D and a 2D hydrodynamic model	2017	10.2166/nh.2016.352

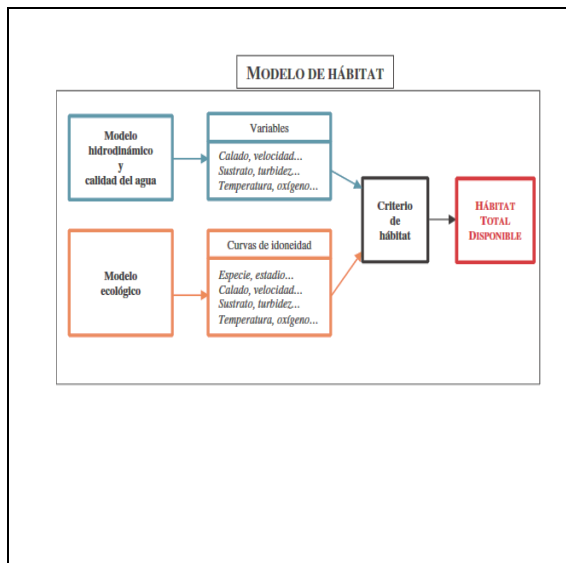
Id	Autores	Cita	Fecha publicación	DOI o link
71	Jeffrey A. Tuhtana, Juan Francisco Fuentes-Perez, Gert Toming, Maarja Kruusmaa	Flow velocity estimation using a fish-shaped lateral line probe with productmoment correlation features and a neural network	2016	http://dx.doi.org/10.1016/j.flwmeasinst.2016.10.017
72	STEVEN G. SANDI, JOSE F. RODRIGUEZ, PATRICIA M. SACO	LINKING HYDRAULIC REGIME CHARACTERISTICS TO VEGETATION STATUS IN THE MACQUARIE MARSHES	2016	https://asnevents.s3.amazonaws.com/Abstrakt-FullPaper/26084-sandi_26084_FINAL.pdf
73	Mohammad Shafi M. Arif, Eberhard Gülch, Jeffrey A. Tuhtan, Philipp Thumser & Christian Haas	An investigation of image processing techniques for substrate classification based on dominant grain size using RGB images from UAV	2016	10.1080/01431161.2016.1249309
74	Rita M. Bonetti, Ivars V. Reinfelds, Gavin L. Butler, Chris T. Walsh, Tony J. Broderick, Laurie A. Chisholm	A multi-scale GIS and hydrodynamic modelling approach to fish passage assessment: Clarence and Shoalhaven Rivers, NSW Australia	2016	10.1016/j.geomorph.2015.06.015
75	Brian D. Fox, Brian P. Bledsoe, Eleanor Kolden, Matthew C. Kondratieff, and Christopher A. Myrick	ECO-HYDRAULIC EVALUATION OF A WHITEWATER PARK AS A FISH PASSAGE BARRIER	2016	10.1111/1752-1688.12397
76	F. Hugue, M. Lapointe, B.C. Eaton, A. Lepoutre	Satellite-based remote sensing of running water habitats at large riverscape scales: Tools to analyze habitat heterogeneity for river ecosystem management	2016	http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.025
77	Naveed Muhammad, Gert Toming, Jeffrey A. Tuhtan, Mark Musall3, Maarja Kruusmaa	Underwater map-based localization using flow features	2016	10.1007/s10514-016-9558-0
78	Marc Naura, Mike J. Clark, David A. Sear, Peter M. Atkinson, Duncan D. Hornby, Paul Kemp, Judy England, Graeme Peirson, Chris Bromley, Matthew G. Carter	Mapping habitat indices across river networks using spatial statistical modelling of River Habitat Survey data	2016	10.1016/j.ecolind.2016.01.019
79	Clemens Weissteiner, Johanna Jalonen, Juha Järvelä, Hans Peter Rauch	Spatial–structural properties of woody riparian vegetation with a view to reconfiguration under hydrodynamic loading	2015	10.1016/j.ecoleng.2015.09.053
80	Gregory Egger, Emilio Politti, Erwin Lautsch, Rohan Benjankar, Karen M. Gill, Stewart B. Rood	Floodplain forest succession reveals fluvial processes: A hydrogeomorphic model for temperate riparian woodlands	2015	10.1016/j.jenvman.2015.06.018

Anexo 2. Esquemas de metodologías de algunos modelos ecohidráulicos referidos en la literatura

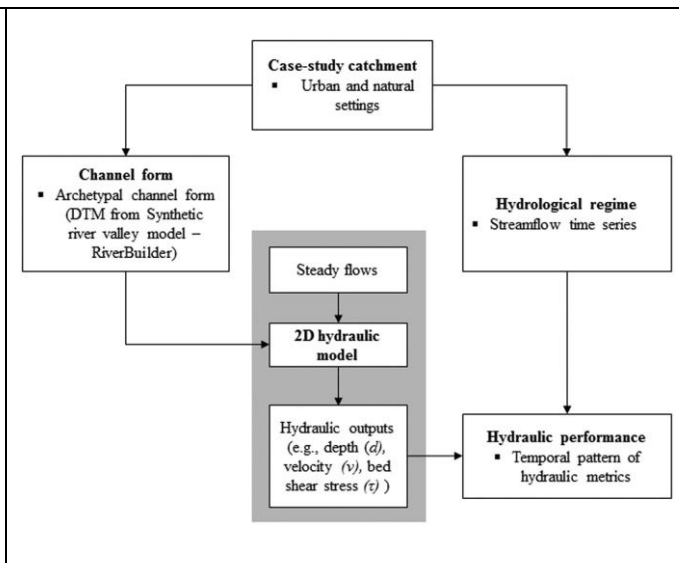




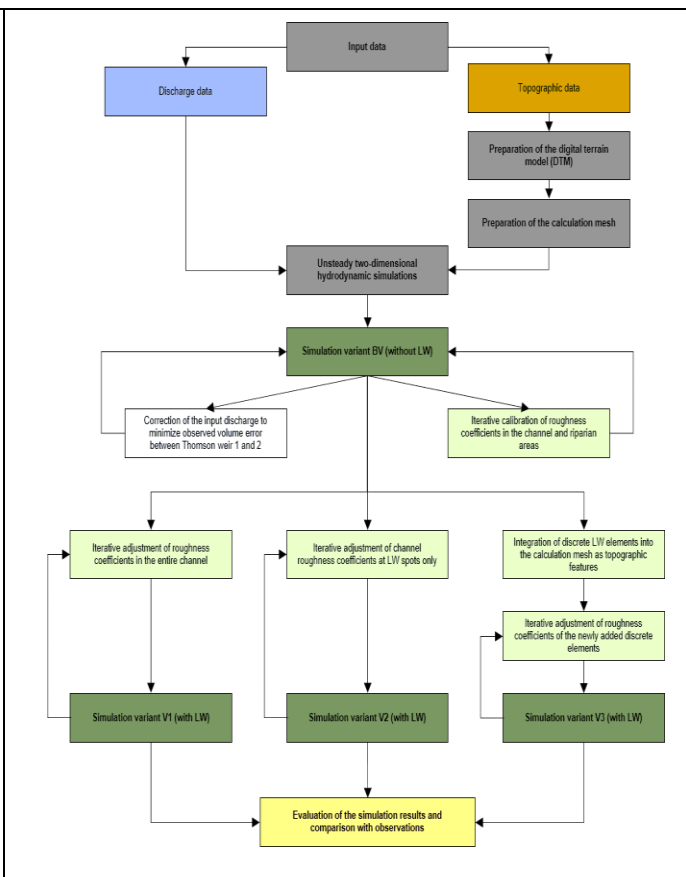
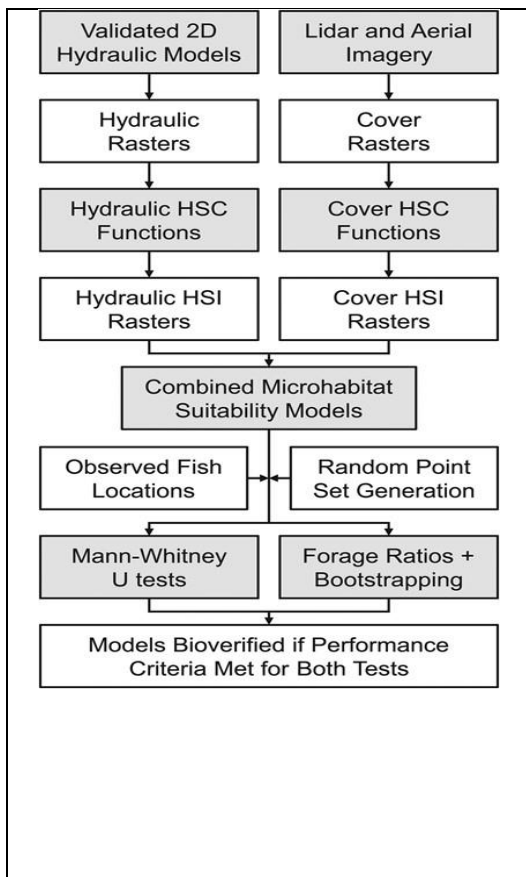
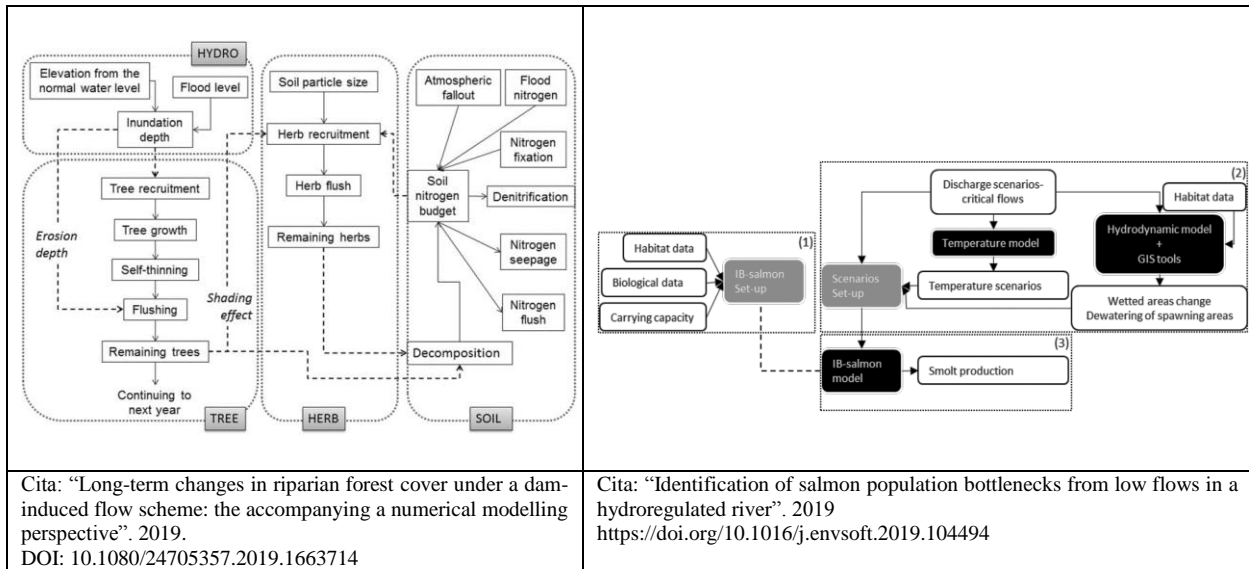
Cita: “Multi-criteria decision analysis in Bayesian networks - Diagnosing ecosystem service trade-offs in a hydropower regulated river”. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104604>

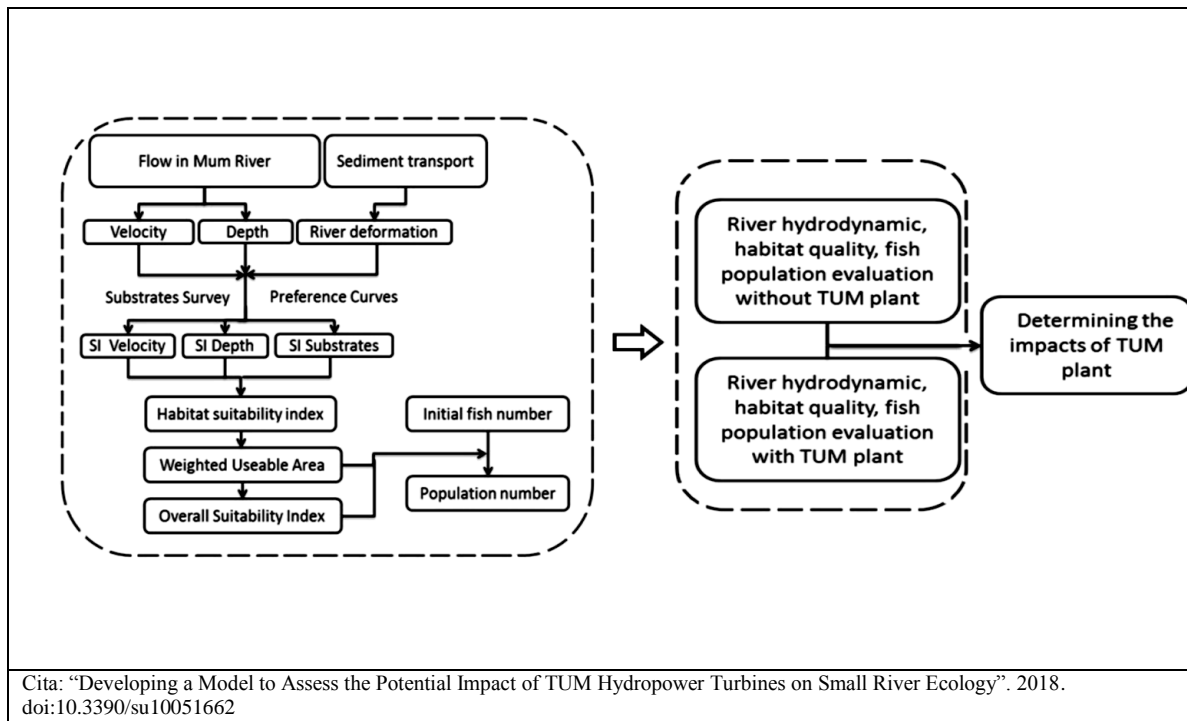
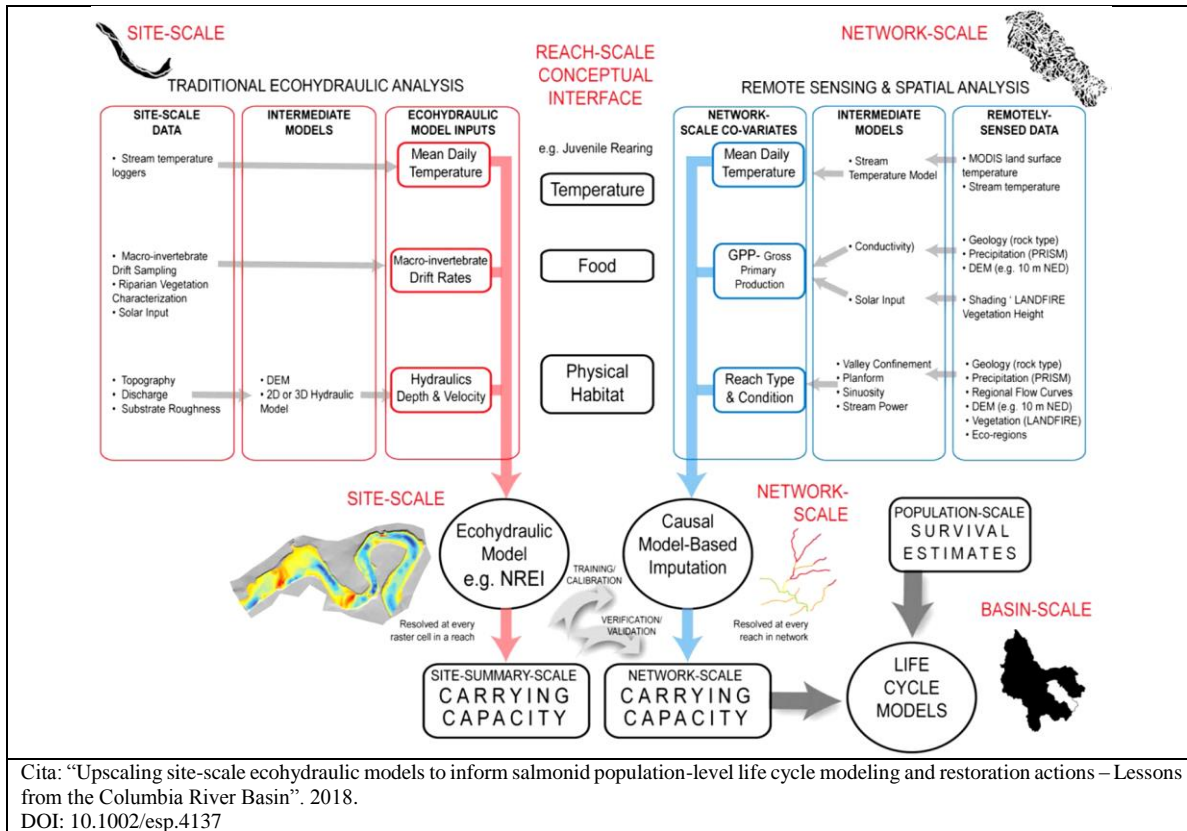


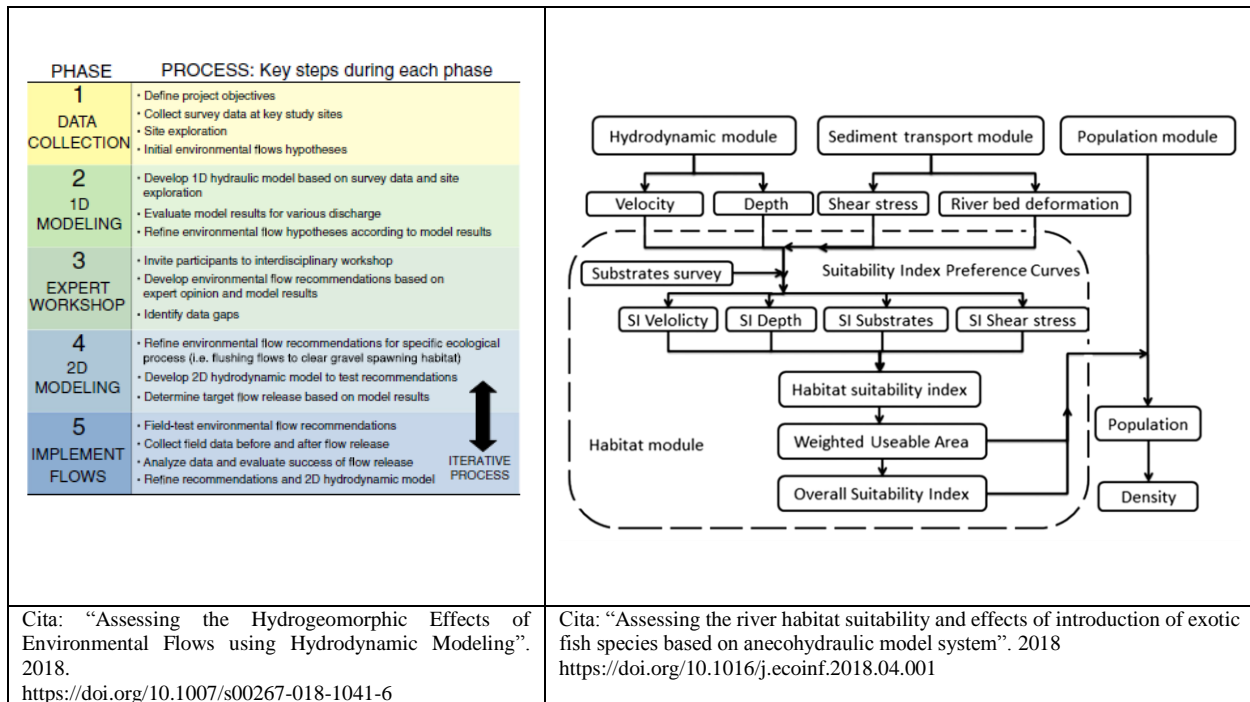
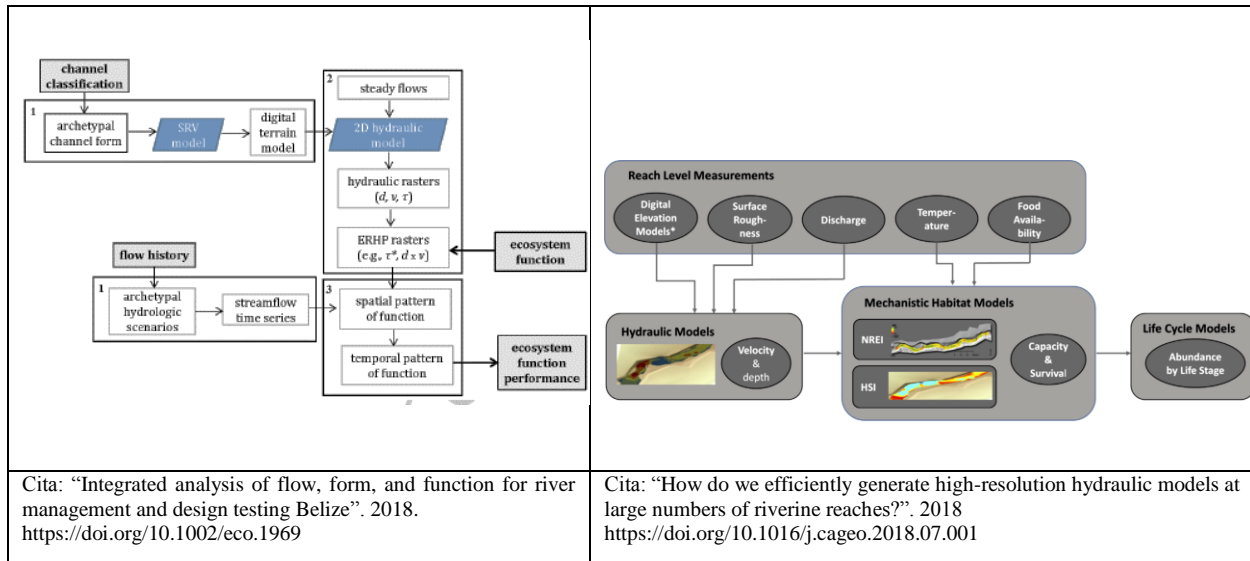
Cita: “IberHABITAT: evaluación de la Idoneidad del Hábitat Físico y del Hábitat Potencial Útil para peces. Aplicación en el río Eume”. 2019. <https://doi.org/10.1080/23863781.2019.1664273>

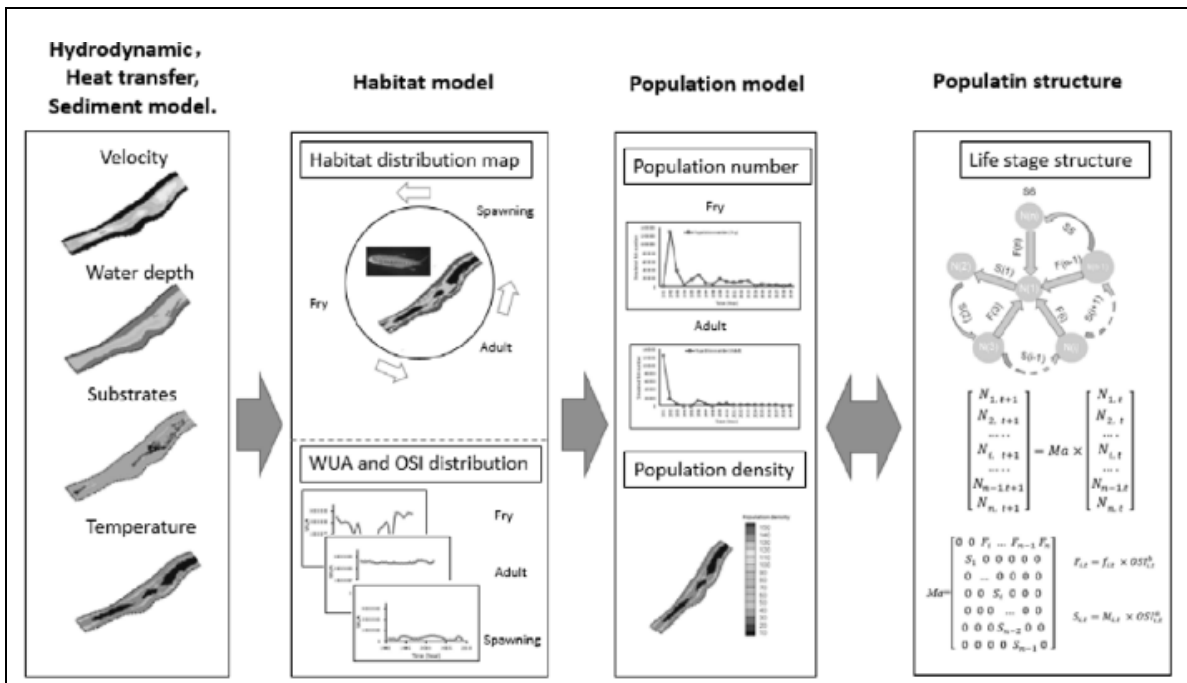


Cita: “How alternative urban stream channel designs influence ecohydraulic conditions”. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.095>

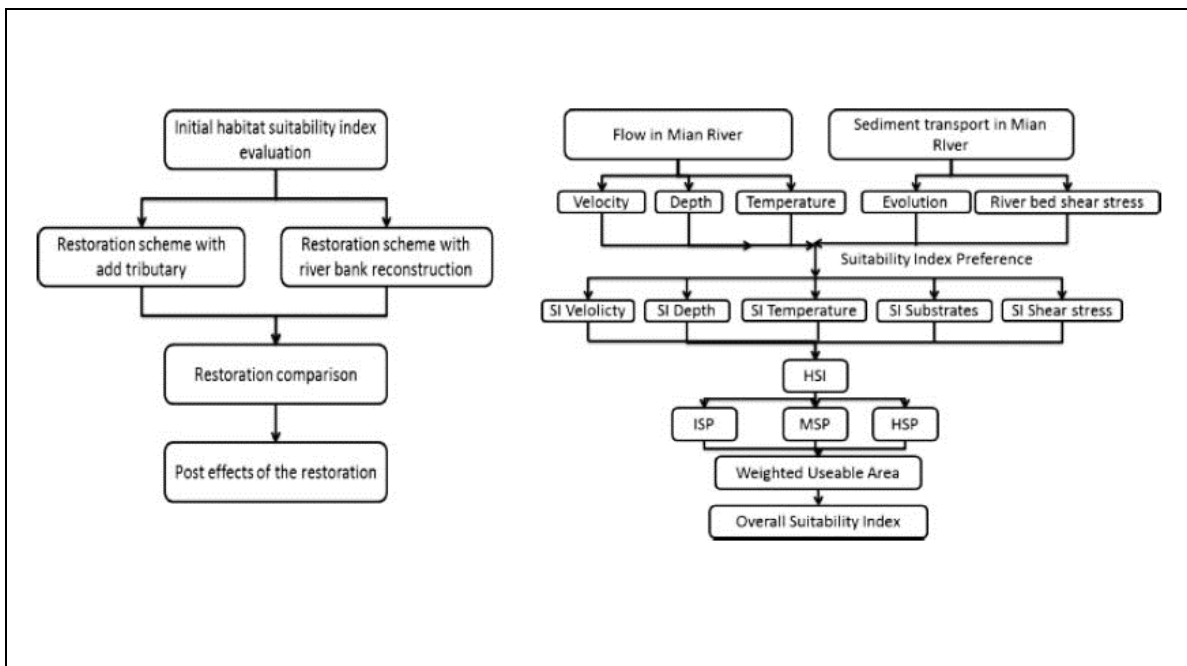




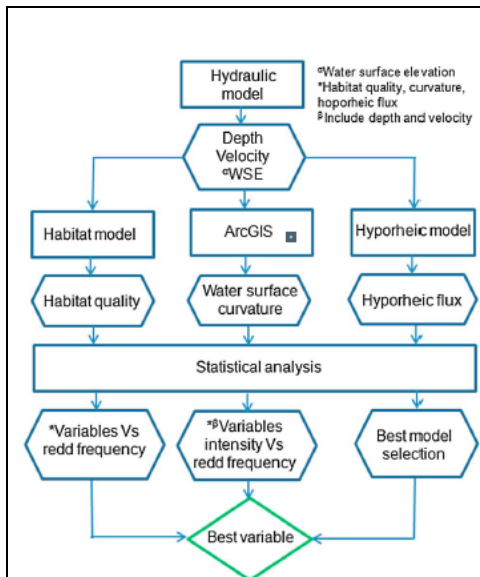
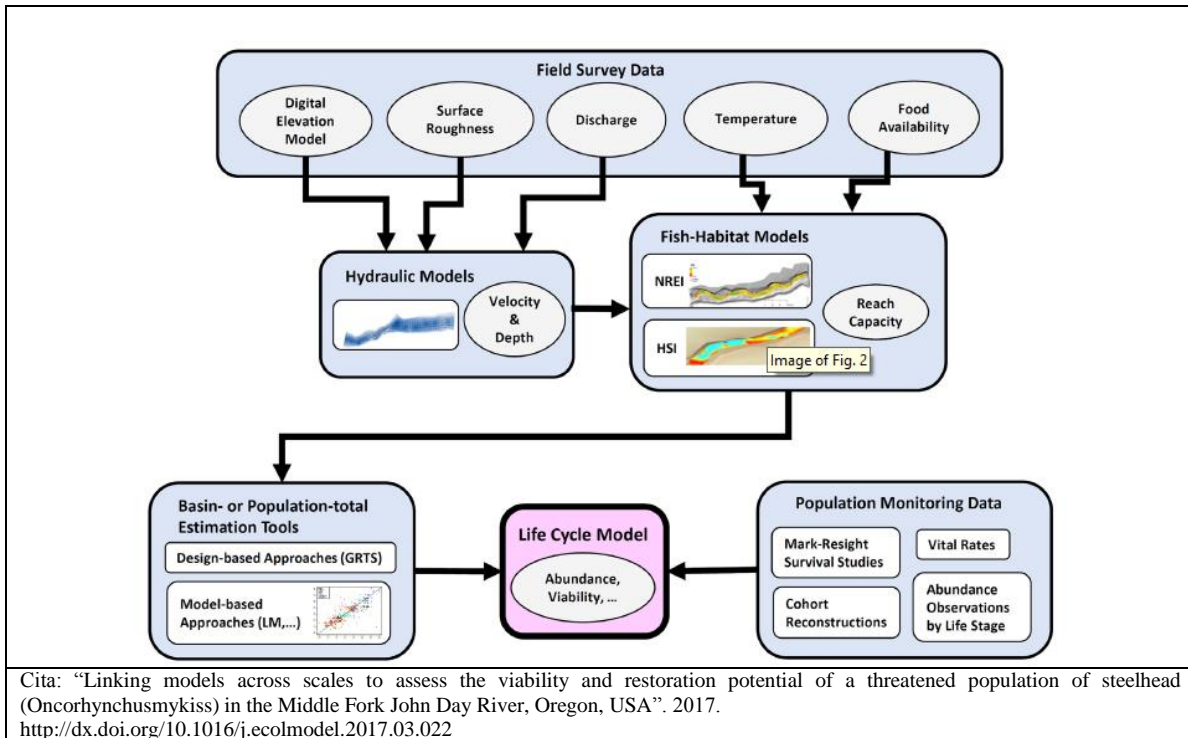




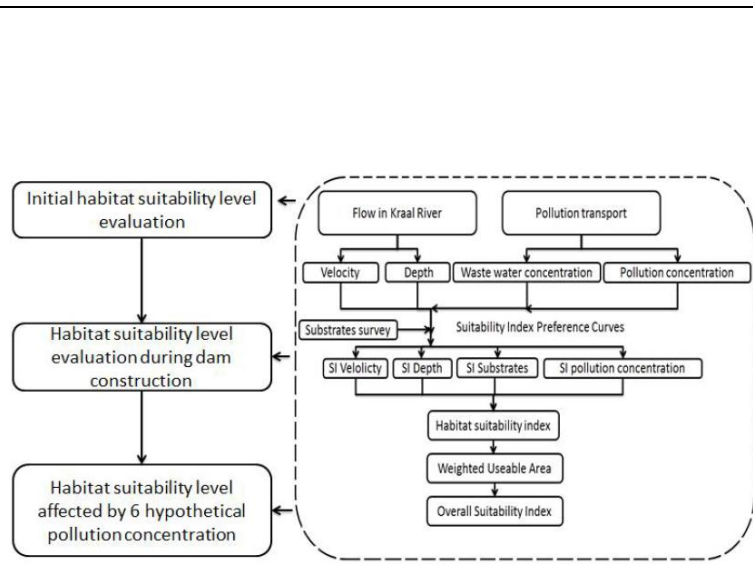
Cita: "Glen Canyon Dam Operation Effects on Rainbow Trout Habitat and Population Status". 2017. DOI: 10.15244/pjoes/74366



Cita: "Habitat models for assessing river ecosystems and their application to the development of river restoration strategies". 2017. <https://doi.org/10.1080/02705060.2017.1371088>



Cita: "Effects of habitat quality and ambient hyporheic flows on salmon spawning site selection". 2016. <https://doi.org/10.1002/2015JG003079>



Cita: "Using an Eco-hydrodynamic Model to Simulate the Impact of Trunk Dam Construction on Kraal River Fish Habitat and Community". 2016. DOI: 10.22059/ijer.2016.57717

