

LA DINÁMICA FLUVIAL DEL ESTUARIO DEL RIO CHUBUT Y LA MIGRACIÓN DEL PUERTO RAWSON. PROPUESTA INTEGRADORA PARA UN ESTUDIO RETROSPECTIVO Y DE MODELACIÓN NUMÉRICA

Bastida, Rodrigo¹, Sebastián, Iglesias; Foletto, Leandro E².

¹ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco-Sede Trelew-Chubut; ² Dirección de Infraestructura Portuaria -Provincia de Chubut

Email: leandro_tw@live.com.ar

ABSTRACT

La documentación histórica de la ciudad de Rawson y la villa balnearia de Playa Unión muestra que hasta mediados del siglo pasado el estuario del Río Chubut era navegable, desarrollándose la actividad portuaria en la localidad de Rawson. Posteriormente a la construcción de la Presa Florentino Ameghino sobre el Río Chubut, a 120 km aguas arriba, el estuario experimentó un proceso sostenido de colmatación. La actividad portuaria migró hacia la desembocadura (ubicada a 8 km aguas debajo de Rawson). Las obras realizadas con posterioridad para proteger al puerto y la necesidad de dragados periódicos dan cuenta de un proceso de sedimentación que perdura hasta la actualidad. Por otro lado, la costa de Playa Unión ha experimentado un marcado y sostenido retroceso desde mediados del siglo pasado. Se imponen las preguntas: ¿cuáles han sido los cambios morfológicos del estuario del Río Chubut en el siglo XX? ¿Cuál ha sido la incidencia del cambio en el régimen de caudales impuesto por la central hidroeléctrica en la dinámica fluvial del estuario? ¿Cuál es el aporte actual de sedimentos del Río Chubut a la zona portuaria que define la necesidad de dragado?

A fin de responder estas preguntas se ha formulado un proyecto de investigación con participación conjunta de docentes-investigadores del Departamento de Ingeniería Civil (or. Hidráulica) de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco con profesionales de la Dirección de Infraestructura Portuaria de la Provincia de Chubut. Se establecieron los siguientes objetivos: a) Desarrollar un modelo hidráulico-sedimentológico bidimensional del estuario del Río Chubut (pre y pos represa), b) Evaluar los cambios morfológicos a partir de documentos históricos, c) Cuantificar el transporte medio anual de sedimentos antes y después de la construcción de la represa.

La primera fase del proyecto consiste en la recopilación de documentación histórica, tales como fotos, imágenes aéreas, cartas marinas, etc. Al momento se ha hallado una carta marina con relevamientos realizados en 1927 disponible en el SHN y fotografías aéreas de mediados de siglo disponibles en el INTA-EE Trelew. La comparación entre documentos históricos con imágenes satelitales y relevamientos topográficos actuales permitirá interpretar y quizás cuantificar los cambios morfológicos del Río Chubut. Se han planificado sondeos geotécnicos para detectar el posible lecho del Río Chubut a partir de cambios en la textura del material del mismo. Estos estudios multidisciplinarios conducirán a la reconstrucción de una posible morfología y sedimentología del río Chubut antes de la implantación de la presa Ameghino

En la segunda fase del proyecto se realizarán simulaciones bidimensionales empleando los softwares IBER y LICAN LEUFU para estimar las tasas de transporte de sedimentos para cada caudal y la tasa media anual de transporte de sedimentos. La modelación incorporará datos de mareas y caudales en las condiciones de borde de aguas abajo y aguas arriba, respectivamente. En base a experiencias recientes de dragado se procurará validar el modelo de transporte de sedimentos. Se emplearán observaciones directas de niveles en distintas secciones del estuario para validar el modelo hidrodinámico.

1 INTRODUCCIÓN

El análisis de la dinámica fluvial en el Estuario Río Chubut resulta de interés por su relación con la actividad Portuaria.

El cambio morfológico del cauce ha generado una modificación en las capacidades de la navegación y uso económico del estuario como vía de comunicación.

1.1 Comienzos de la actividad portuaria:

Hasta mediados del Siglo XIX la Patagonia se encontraba ocupada por pueblos originarios nómades, cuyo dominio era de tribus tehuelches. Durante la Presidencia de Bartolomé Mitre (1862 – 1868) fue el Dr. Guillermo Rawson quien, desde el Ministerio del Interior, promovió -entre otras- las migraciones de galeses hacia la Patagonia.

El proceso que se concretó cuando el 28 de julio de 1865 atracó el velero Mimosa en las costas del Golfo Nuevo, en proximidades de la actual Puerto Madryn, desembarcando un centenar y medio de colonos galeses; trasladándose luego hacia el sur en búsqueda de agua dulce, hasta el río Chubut.

La comunicación de la colonia con otros lugares poblados del país se realizaba a través de la desembocadura del río Chubut en el Mar Argentino. En su estuario se recibían provisiones enviadas por el gobierno desde Buenos Aires y más adelante se comenzaron a producir intercambios embarcándose excedentes de producciones del valle.

Hasta la primera mitad del siglo XX la actividad portuaria incidía tanto en la localidad de Rawson como en la desembocadura del Río Chubut, allí existía un muelle de Madera en zona fluvial. Este tramo que unía ambas zonas abarcaba unos 8,1km, y contaba con un calado suficiente para la circulación de las embarcaciones.

1.2 Alteración antrópica en el cauce: Presa Florentino Ameghino.

La presa Florentino Ameghino (ubicada a 208 km aguas arriba de la desembocadura) se inauguró en el 1963 y la central comenzó a regular los caudales del Río Chubut a partir del año 1968.

La influencia de la nueva regulación de caudales, habría contribuido a la colmatación del estuario ante la ausencia de grandes crecidas, las cuales producían un efecto "auto-dragado". Es por esto que necesariamente la actividad portuaria se fue desplazando hacia la zona de la desembocadura.



Figura 1: Viejo puente de madera en Rawson. Inaugurado en 1890 y destruido en la crecida de 1899.



Figura 2: Embarcaciones en la ciudad de Rawson, década del 50'. (fuente: Sitio Web "Fotos antiguas del Chubut").

1.3 Impacto en el balneario Playa Unión:

El río Chubut es un factor clave en la dinámica costera del balneario Playa Unión, el cual viene experimentando cambios de tipo morfológicos y de esparcimiento Urbano.

Los primeros asentamientos en el balneario datan de principios del siglo XX. Como fecha oficial de fundación del balneario es el 17 de noviembre de 1923. Las primeras edificaciones consistían en viviendas tipo casillas de madera y chapa sobre pilotes ubicadas en proximidad a la línea de costa. En la década del 30' comenzaron a registrarse los primeros fenómenos de erosión costera. En el año 1942, una tormenta produjo olas con suficiente energía para erosionar la costa y destruir las viviendas de la primera fila. En el año 1971 otra marejada, destruyó parte de la antigua rambla.



Figura 3: Antigua primera fila de casillas de madera y chapa. Casa del Gobernador. Año 1925 (fuente: Museo Regional de Rawson).

Se identifica 3 causas posibles que habrían influido en la dinámica sedimentológica de la playa:

- 1) Una causa de gran escala espacial y temporal asociada a la dinámica litoral y marítima.
- 2) Otra causa, a menor escala, referida a la Construcción del Dique Florentino Ameghino, cuya incidencia se vería reflejada en la disminución de aporte de sedimentos por parte del Estuario a la zona costera.
- 3) Como ultima causa, de corto plazo, referida a la construcción de las obras de abrigo en la desembocadura del río.

2 Intervención antrópica en la desembocadura del Río Chubut:

Datan desde el inicio de la década del 60', en donde la actividad portuaria se desplazaba hacia la desembocadura.

Como obras (basadas en resguardar las embarcaciones de los oleajes provenientes del este y sudeste) podemos enumerar las siguientes:

- 1) Entre 1960 y 1963 la construcción de un espigón de tablestacas de hormigón.
- 2) En el año 1972 y 1974 la construcción de la escollera sur que se extiende 550m hacia lado mar.
- 3) A principios del siglo XXI se extendieron las obras de abrigo, las cuales cuentan con la longitud actual.
- 4) Obras de dragado para aumentar el calado y permitir la navegabilidad del canal de acceso hacia el puerto.



Figura 4: Obra Remodelación Pto. Rawson (2001-2005). Se puede ver la construcción de escolleras, Muelle Nuevo Pesquero y Dragado del canal de acceso. (Fuente: Dirección de Infraestructura Portuaria).

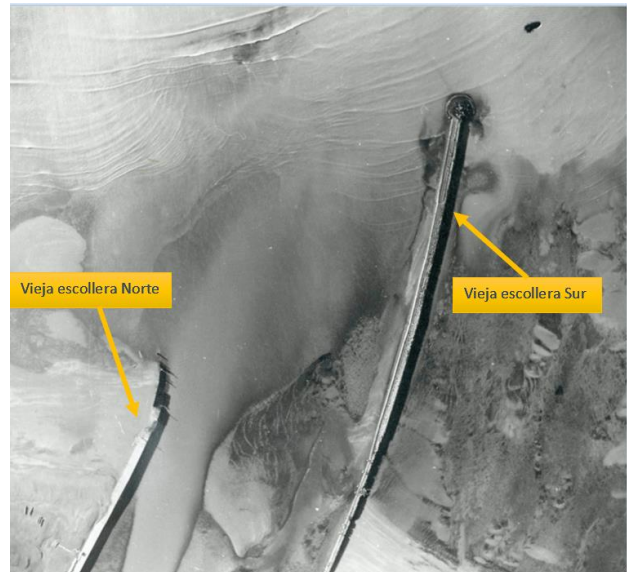


Figura 5: Viejas escolleras Norte y Sur. (Fuente: Dirección de Infraestructura Portuaria)

3 Antecedentes de estudios del Río Chubut y el nuevo estudio del Estuario

En el caso particular del Río Chubut y su afectación por la construcción de la represa Florentino Ameghino, estudios anteriores realizados por Kaless et al. (2008) han documentado los cambios hidrológicos en el Río Chubut con el aumento de duración de caudales bajos y la eliminación de los caudales altos de crecidas. Además, se ha documentado el cambio morfológico del río en el VIRCH (Valle Inferior del Río Chubut) observándose en proximidades de la localidad de Gaiman una reducción en el ancho del cauce y elevación del nivel del fondo.

En un estudio más reciente, Kaless et al. (2018) han descrito los cambios sedimentológicos en los primeros 100 km del Río Chubut, desde la represa hasta el inicio del valle. En dicho estudio se muestra claramente cómo la ausencia de sedimentos en la descarga de la represa ha dado lugar al acorazamiento del lecho. Por otra parte, el aporte de sedimentos desde las cuencas torrenciales ubicadas a ambos lados del valle regula significativamente el tamaño de sedimento en el río.

El presente estudio arrojará nueva luz sobre un tramo no estudiado del Río Chubut, tal es la zona de su estuario, proveyendo información sobre los cambios morfológicos y la dinámica de sedimentos antes y después de la construcción de la represa Florentino Ameghino.

4 Objetivos del Proyecto:

Se plantean los siguientes objetivos:

- 1) Desarrollar un modelo hidráulico-sedimentológico bidimensional del estuario del Río Chubut (pre y post represa).

- 2) Evaluar los cambios morfológicos a partir de documentos históricos.
- 3) Cuantificar el transporte medio anual de sedimentos (pre y post represa).

5 Antecedentes:

5.1 Descripción del área de estudio: Estuario Río Chubut

Ubicación geográfica:

El estudio se centra en un tramo del río Chubut desde la desembocadura en el Mar Argentino (LAT 43° 20' 33" S - LONG 65° 3' 18" O) hasta el puente viejo apodado "el poeta", ubicado en la ciudad de Rawson, a unos 8,7km aguas arriba de la desembocadura. El origen del sistema ha sido materializado por los morros de las obras de abrigo (escollera Sur y Norte).

Si bien el tramo tiene una longitud de 8,7km, será necesario adicionar al estudio un tramo aguas arriba en donde se compense las incertidumbres en las condiciones de borde sedimentológicas (aporte de sedimentos aguas arriba). Este tramo propuesto alcanza una longitud de 2,3 km aguas arriba (progresiva km 11), en donde el cauce presenta un tramo más recto, compatible con hipótesis de flujo uniforme y de posible equilibrio sedimentológico.



transportadas en el Río Gualjaina que colecta los aportes del arroyo Lepá y Tecka. El tramo superior culmina en el paraje denominado "costa del Chubut" en donde confluyen el Río Chubut con el Río Gualjaina (Valladares 2004).



Figura 7: Esquema. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Chubut y Río Chico (VARCH: Valle Alto del Río Chubut; VAMERCH: Valle Medio del Río Chubut; VIRCH: Valle inferior del Río Chubut; VARCHICO: Valle del Río Chico) – Kaless et al. (2019).

El tramo medio atraviesa la amplia meseta patagónica de oeste a este sin recibir aportes de tributarios permanentes. Sin embargo, los numerosos cañadones con arroyos efímeros son sede de crecidas torrenciales cuando llueve ocasionalmente en estas cuencas. El tramo medio culmina cuando el río ingresa en el Dique Florentino Ameghino.

Cuando las aguas del Río Chubut atraviesan la central hidroeléctrica inician la última etapa en su recorrido hacia el Océano Atlántico, el denominado Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH).

Aguas abajo, el valle fluvial se ensancha y las cuencas tributarias drenan una amplia superficie de 1068 km² (Bastida et al. 2017). Dichas cuencas aportan volúmenes importantes de sedimentos y escorrentía únicamente cuando se producen tormentas importantes. A 80 km desde el embalse se encuentra el Paraje Boca Toma, cabecera de la red de riego. En dicho sector, el río vuelve a transitar por un valle angosto hasta alcanzar el extremo occidental del área bajo riego.

Finalmente, en el puerto de Rawson el Río Chubut desemboca en el mar.

El régimen de caudales del Río Chubut en el VIRCH está regulado por la central hidroeléctrica. El caudal semipermanente (50% de duración) es de 36.4 m³/s, mientras que los caudales mínimos y máximos característicos (95% y 5% respectivamente) ascienden a 16.7 m³/s y 68.7 m³/s, respectivamente

Figura 6: Esquema tramo de estudio del Estuario Río Chubut con inicio en la progresiva Km 0 (escolleras) y fin en el puente del Poeta (km 8,7). El tramo de transición se extiende hasta la progresiva km 11.

Cuenca del Río Chubut:

El curso del Río Chubut puede subdividirse en tres tramos, el superior, medio e inferior (Fig. 7).

El Río Alto Chubut nace en la Provincia de Río Negro. Antes de ingresar en territorio chubutense recibe los aportes de los arroyos Maitén y del Portezuelo y entonces recibe el nombre de Río Chubut. En territorio chubutense recibe las aguas de los arroyos Leleque, luego del Ñorquinco y del Río Chico en el paraje Fofó Cahuel. Desde el sur escurren las aguas

(Kaless et al, 2008). Ocasionalmente ocurren crecidas en el Río Chubut debido a los aportes torrenciales de arroyos efímeros que drenan una vasta extensión areal circundante. El caudal máximo registrado en la estación de aforo de Gaiman (ubicada a 145 km aguas abajo de la represa) fue de 130.5 m³/s, en la crecida del 15 abril de 1993 (S.RR.HH. 2017).

Estuario del Río Chubut:

Es un cuerpo semicerrado que se extiende hasta el límite efectivo de las mareas. En el estuario se observa la presencia de la cuña salina, con un régimen semidiurno de mareas que posee una amplitud máxima superior a 5 m y alturas para sicigias equinocciales de 5.29 m (SHN, 1996 a 2019). Durante la pleamar se produce el embalsamiento de las aguas fluviales, lo que conlleva un aumento de caudal durante las bajamares al descargarse rápidamente el agua almacenada en el estuario. Estudios recientes muestran que el caudal puede ascender hasta 140 m³/s durante la bajamar siendo de 60 m³/s el caudal medio diario (Kaless et al. 2019). De acuerdo a Owen et al (2005) la influencia de la marea se detecta hasta unos 10 km aguas arriba de la desembocadura.

La zona aledaña al estuario se compone de distintos tipos de sedimentos y depósitos. Existen sedimentos de la planicie aluvial en un ancho aproximado de 1.5 km, con gravas arenosas y arenas de origen terrígeno ya sean eólicas o fluviales, como marinos litorales, con intercalaciones de arena fina eólicas y fluviales. También se encuentran depósitos de arcilla y limos en escasa proporción.

Geología y Geomorfología:

El basamento en la zona de trabajo está constituido por la Fm. Marifil que no se haya aflorante pero se lo ha detectado en una perforación en Playa Unión a 155 m de profundidad (cota de la perforación 7,5 msnm). Sobre el basamento, en relación de discordancia erosiva yacen 115 m de sedimentos terciarios.

La geomorfología de la zona aledaña al estuario actual del río Chubut se compone de las siguientes unidades (Ichazo, 2000):

Las playas marinas: superficies de acumulación de áreas costear.

Cordones litorales de origen marino. Se presentan como barras alargadas, dispuestas paralelamente a la costa y formados por la el retrabajo de arenas y rodados en la línea de rompiente.

Cordones de estuario. Conformados por depósitos de ambiente transicional (estuario) que se desarrollan como cordones paralelos al valle.

Llanuras de marea. Se trata de superficies desarrolladas en zonas con baja pendiente sobre el estuario del antiguo Río Chubut.

Bajos de arcillas negras. Los materiales que se depositaron en estas unidades son sedimentos arcillosos oscuros.

Llanura de inundación. La planicie aluvial conforma el piso del valle y se desarrolla por efecto predominante de la erosión y depositación fluvial.

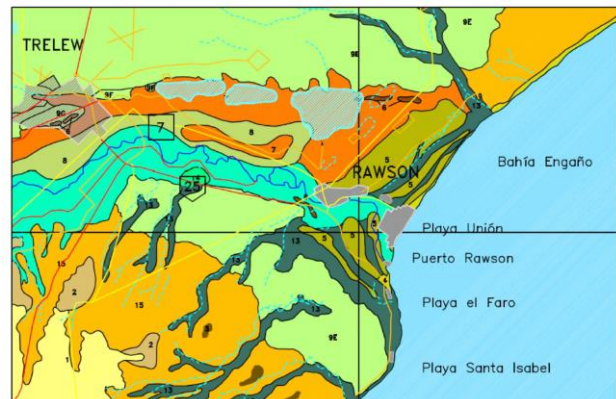


Figura 8: Unidades geomorfológicas del área de estudio: 4, Playas marinas; 5, cordones litorales; 6, cordones de estuario; 7, llanuras de marea; 8, bajos de arcilla negra, 11, llanura de inundación (modificado de Ichazo, 2000).

Características sedimentológicas del lecho:

El lecho del Río Chubut en su tramo final presenta varias poblaciones sedimentológicas. A lo largo del tramo de estudio, sobre las márgenes, se observa material conformado por mezcla de gravas gruesas y arena. En la zona conocida como "El Elsa" (Fig. 9) se observa el lecho con presencia de gravas y trazas o lentes de sedimentos finos. Corresponde a un sector de aguas someras del lecho accesible durante la marea baja (Kaless et al. 2019).



Figura 9: Sector de aguas someras en la zona de Elsa con presencia de gravas y lentes de sedimentos finos (arena).

6 El puerto de Rawson en la actualidad:

6.1 Muelles operativos e inactivos:

Muelle inactivo:

Actualmente en Puerto Rawson se encuentra inactivo el Muelle de Madera, el cual cuenta con un frente de atraque de 28m de longitud. En el mismo atracan sólo embarcaciones fuera de servicio.

Muelles activos:

Cuenta con 3 muelles activos, dos de propiedad del estado (Muelle Murray Thomas y Muelle Nuevo Pesquero, ambos en la margen izquierda del Río), y un muelle privado de la firma CONARPESA, donde su longitud de atraque original era de 60m y actualmente ha culminado la obra de reparación y ampliación en el año pasado, en la cual se duplica el frente de atraque a 120m.

El muelle Murray Thomas (localizado aguas abajo del muelle de madera) fue construido en la década del 80'. Hasta principios del año 2015 contaba con un frente de atraque recto de 120m y con 2 frentes inclinados a cada lado de 40,6m aprox. Durante el 2015 se inició su reparación por completo, modificando su tipología estructural, en donde actualmente cuenta con un frente de atraque de 180m aprox.

Finalmente, el Muelle nuevo Pesquero, obra finalizada en el año 2003, cuenta con un frente de atraque recto de 135m. Se encuentra localizado aguas abajo del muelle Murray Thomas.



Figura 10: Puerto Rawson en la actualidad. Elaboración propia.

6.2 Embarcaciones operativas:

Las embarcaciones que operan actualmente en puerto Rawson son las denominadas "Flota amarilla", embarcaciones del tipo rada o ría (con

casco de madera), como así también las del tipo Costero (casco de madera o acero). La embarcación de diseño utilizada para el dimensionamiento de los muelles que operan actualmente cuenta con una eslora máxima de 25,5m, una manga de 6,5m y un calado de 2,8m. En el Muelle Murray Thomas operan activamente 70 embarcaciones, y en el Muelle Pesquero (muelle más cercano a la desembocadura) operan 32 embarcaciones. Otras embarcaciones se encuentran en etapa de mantenimiento en los astilleros ubicados en las márgenes del río, en el Puerto de Rawson.

6.3 Vías de acceso:

Actualmente, los accesos al puerto Rawson se efectúan por vía fluvial y terrestre.

Fluvial: las embarcaciones ingresan y egresan a los muelles atravesando la desembocadura del Río Chubut al Mar argentino, zona abrigada por las escolleras Norte y Sur (construidas entre los años 2001-2005).

Debido a la interacciones hidrodinámicas y efectos mareológicos en la zona del estuario, como así también las sedimentaciones evidenciadas por estudios antecedentes, y no habiéndose efectuado recientemente obras de dragado, se generan limitaciones a la navegabilidad en las franjas horarias diarias, más precisamente en situaciones de bajamares.

Terrestre: Actualmente, se puede acceder al puerto a través de la Av. Marcelino González, o bien por Av. Guillermo Rawson, ambos accesos conectan con la margen izquierda del Río Chubut, y con los Muelles Murray Thomas y Nuevo Muelle Pesquero.

Transitando desde la ciudad de Rawson a través de la Avenida Piedrabuena se toma contacto con la margen derecha del Río, la cual cruzando por el nuevo Puente "El Elsa", se llega a la margen izquierda del Río para tomar contacto con los Muelles mencionados. Este puente permitió descongestionar las 2 avenidas mencionadas anteriormente, cuya capacidad vial se veía colapsada en horas pico de verano, como así también en horas coincidentes con el desembarco de mercadería en los muelles, de los cuales egresaban camiones con semirremolque para transitar luego por las avenidas.

6.4 Actividad Pesquera

Las especies características que se capturan y que son desembarcadas en Puerto Rawson son: Peces (Abadejo, Anchoíta, Merluza, Mero, Pez Gallo, Salmón de Mar, Palometa), Crustáceos (Camarón, Cangrejo, Centolla, Centollón, Langostino) y Moluscos (Calamar, Caracol, Pulpos, Vieiras), resaltando entre estos la merluza, calamar y en mayor escala los langostinos.

A continuación, se presenta una comparativa de desembarques (ton) de Rawson con otros puertos Provinciales (Pto. Madryn, Pto. Comodoro Rivadavia, Caleta Córdova, Camarones), como así también Rawson con puertos de otras provincias del país (Buenos Aires, Rio Negro, Santa Cruz, Tierra del Fuego).

Respecto a los desembarcos en Puerto Rawson, y su incidencia respecto al total en la Provincia de Chubut, desde el año 1989 al actual se ha ido incrementando sustancialmente (fuente: www.magyp.gob.ar), donde en el corriente año representa un 38% de incidencia respecto al total:

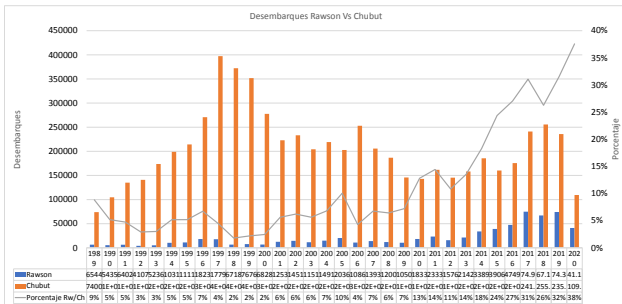


Figura 11: Desembarques en Puerto Rawson vs. Chubut. Elaboración Propia.

Por otro lado, los desembarcos en Puerto Rawson respecto al total país durante el mismo intervalo de años (fuente: www.magyp.gob.ar), ha ido en alza, pero con una incidencia menor respecto a la comparativa a nivel Provincial, llegando a un 9% en el año 2020:

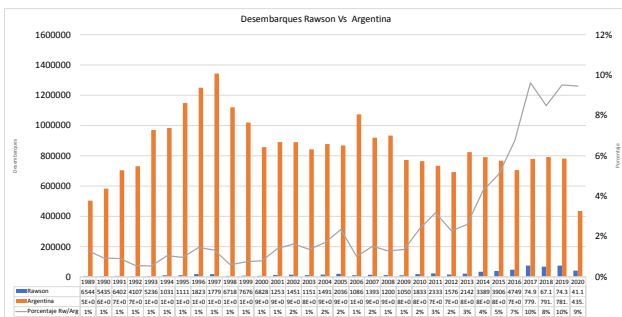


Figura 12: Desembarques Puerto Rawson vs. País. Elaboración Propia.

Siendo el langostino la especie de mayor captura en Puerto Rawson, en el año 2019 a representado un 34% respecto al total de desembarco en los puertos del país. De lo que va del año 2020, representó un 62% (fuente: www.magyp.gob.ar):

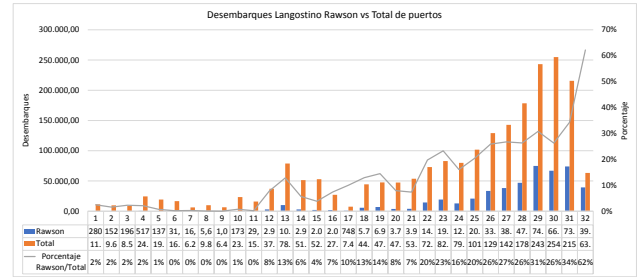


Figura 13: Desembarques Puerto Rawson vs. total de puertos. Elaboración Propia.

7 Metodología del Proyecto de Investigación:

7.1 Marco general metodológico:

El agua en movimiento es el principal agente que produce cambios morfológicos. Los ítems 1 a 5 (fig. 14) dan cuenta de las condiciones de borde hidráulicas a las que está sujeto el estuario. Por un lado, desde aguas arriba el flujo viene impuesto por la regulación hidrológica realizada por la cuenca para el periodo de tiempo anterior a la construcción de la represa o desde la central a partir de su puesta en funcionamiento. Por otro lado, los ítems 4 y 5 caracterizan las condiciones que impone el mar al flujo en el estuario a través del nivel de la marea. La marea puede modificar drásticamente el flujo produciendo la inversión del sentido del flujo durante la fase de ascenso del nivel, o aumentando el caudal (duplicándolo o triplicándolo) cuando se produce la fase bajante.

Las características del flujo, esto es el nivel hidrodinámico y la intensidad de velocidad, viene además condicionado por las características intrínsecas del tramo de estudio, a saber: la rugosidad del lecho y márgenes y la geometría del curso. El ítem 6 está destinado a los relevamientos necesario tales como batimetrías, muestreo de sedimentos, topografía de sectores inundables. Posteriormente, estos datos son procesados para producir modelos de elevación del terreno como así también mapas de la rugosidad del lecho (ítem 7).

La validación del modelo hidráulico se realiza mediante la observación de niveles hidrométricos en distintas secciones transversales a lo largo de un ciclo de marea. Esto se desarrolla en el ítem 8.

La modelación hidrodinámica tiene por finalidad obtener el esfuerzo de corte que realiza la corriente sobre el lecho y además la intensidad de la turbulencia. Los procesos hidráulicos son los mismo para ambas situaciones (pre y post dique) cambiando únicamente las condiciones de borde (niveles de mareas y caudales) y las condiciones morfológicas internas del tramo de estudio.

El último paso consiste en modelar los procesos de erosión, transporte y sedimentación del material acarreado por la corriente. Se requiere de una estimación de las condiciones de borde

especificando el posible aporte de sedimentos desde aguas arriba y las propiedades geotécnicas del lecho y principalmente de las márgenes. Los procesos sedimentológicos modifican la geometría del canal por lo que se requiere de la resolución conjunta de los pasos 9 y 11 (metodología de resolución numérica acoplada o desacoplada según la intensidad de los procesos). El resultado final de la modelación sedimentológica será el aporte de sedimentos del río a la playa para uno o varios ciclos de mareas. El procedimiento de cálculo se realiza para varios caudales elegidos del espectro de caudales del Río Chubut. Para cada caudal se estimará el aporte de sedimentos y finalmente, considerando la curva de duración de cada caudal se evaluará el aporte medio anual de sedimentos, tal como ha sido propuesto en los objetivos.

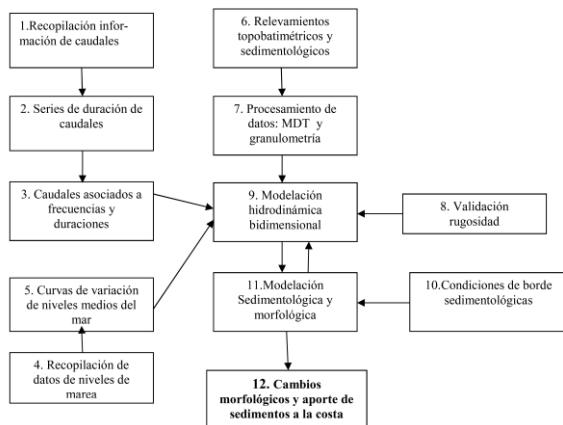


Figura 14: mapa conceptual para la modelación hidrodinámica del estuario del Río Chubut.

7.2 Recopilación de estudios y proyectos antecedentes:

Hasta el momento, se ha podido recopilar la siguiente información de estudios y relevamientos:

a) Relevamientos topobatimétricos:

Se cuentan con relevamientos topobatimétricos de los años 1976, 1996, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2008, 2010, 2014, 2018.

b) Estudios geotécnicos de la playa y el río.

c) Imágenes aéreas y satélites.

d) Datos y análisis de climas de oleaje.

e) Datos históricos correspondientes a los sedimentos transportados por el Río Chubut.

f) Datos históricos y predicciones de los niveles de marea.

Se realizará una revisión de los antecedentes con el fin de recopilar información útil para la interpretación de los cambios morfológicos del Río Chubut y a fin de disponer de información para cargar el modelo hidrodinámico. Dicha información se clasifica como sigue: a) Características granulométricas del lecho del Río Chubut; b) Morfología del Río Chubut; c) Niveles de marea; d) Duración de caudales.

7.3 Relevamientos de campo:

Se centran en incorporar información que no se encontrase disponible en los antecedentes.

De una primera evaluación realizada para la conformación del presente estudio se concluye que **las caracterizaciones sedimentológicas no abarcan la extensión del estuario**, sino que se focaliza en sectores específicos. Por tal motivo se proponen dos estudios específicos:

Estudio 1. Tiene por finalidad caracterizar el material de superficie. Se llevará a cabo una campaña de muestreo de sedimentos superficiales desde el Puente del Poeta hasta la zona portuaria.

Estudio 2. Tiene por finalidad establecer la sedimentación del estuario. Se realizará un perfil geotécnico del cauce del río Chubut en una sección a establecer durante el proyecto.

Se realizará un relevamiento sedimentológico de superficie con el fin de caracterizar la granulometría del material del lecho. En caso de marcada heterogeneidad se definirán sectores con granulometrías uniforme y se recolectarán muestras de cada sector. También en campo se estimará la superficie de cada área. Las muestras pueden realizarse mediante fotografías, técnica grid-by-number según cada sitio (Bunte y Abt , 2001).

Se realizará un muestreo del material del subálveo. Se recolectarán al menos tres muestras a lo largo del tramo de estudio removiendo el material superficial (un estrato con espesor de una a dos veces el tamaño máximo de elemento encontrado en el sitio).

Relevamiento de zonas sumergidas. Cuando el material superficial esté conformado por arena se hincará un sacamuestras, con una profundidad de hincado de al menos 25 cm. En el caso de material grueso se realizará un relevamiento fotográfico. Se realizará una caracterización del material presente en las márgenes. Cada sitio de muestreo será georeferenciado.

Se planificarán las tareas de campo y se definirá la grilla de trabajo. Se realizará un reconocimiento previo a través de imágenes satelitales de alta resolución. Se efectuará un análisis de la bibliografía existente en materia de los trabajos a realizar.

Se realizarán las curvas granulométricas a partir del tratamiento de las fotos mediante programas GIS, o directamente a partir del conteo grid-by-number. Se estimará un coeficiente de fricción para el cauce y un intervalo de confianza.

Se realizarán ensayos granulométricos según normas ASTM, para determinar textura de los diferentes horizontes hallados en cada sondeo. Las

determinaciones de granulometrías y demás ensayos de suelos se realizarán en las instalaciones del LABIEVI (Laboratorio de Investigación y ensayos viales - UNPSJB).

Se realizará un relevamiento topográfico de cauce y márgenes.

Se planificarán las tareas de campo, se definirá la grilla de trabajo. Se realizará un reconocimiento previo a través de imágenes satelitales de alta resolución. Se definirán secciones transversales.

7.4 *Elaboración de modelos digitales de elevación:*

La finalidad de las actividades de gabinete es procesar los datos obtenidos mediante los distintos relevamientos (antecedentes y nuevos) con el fin de realizar el análisis comparativo y proveer la información necesaria para la modelación bidimensional.

7.5 *Análisis de documentación histórica*

El objetivo de esta actividad es el de recopilar documentación histórica relativa a la navegabilidad del estuario y características morfológicas del mismo con el fin de estimar cualitativamente posibles diferencias respecto a la situación actual.

Con respecto a documento tipo cartas, planos o mapas se ha realizado una lista preliminar de fuentes de información:

- Instituto Geográfico Nacional.
- Servicio de Hidrografía Naval.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Dirección de Catastro de la Provincia de Chubut.

Con respecto a documentos fotográficos, se consideran preliminarmente las siguientes fuentes:

- Museo Regional Salesiano ubicado en la Ciudad de Rawson.
- Museo "1923" ubicado en la villa balnearia de Playa Unión, ciudad de Rawson.
- Museo "del Muelle" ubicado en la villa balnearia de Playa Unión, ciudad de Rawson.

Sitios web:

- Fotos antiguas del Chubut (sitio facebook).
- Recuerdos del valle inferior del Río Chubut (sitio facebook).
- Rawson olvidado (sitio facebook).

Se realizará un estudio comparativo de fuentes históricas (mapas y cartas náuticas) para lo cual se prevén las siguientes actividades:

- 1) Se digitalizará la documentación.
- 2) Se georeferenciará la información utilizando un sistema de coordenadas común, por ejemplo,

Proyección Gauss-Kruger – Faja 3 – Posgar 98. (con empleo de herramientas GIS).

- 3) Se comparará la morfología del estuario.
- 4) Se compararán las fotos históricas con el estado actual del lugar para discriminar cambios altimétricos y morfológicos del Río Chubut
- 5) Se integrará la información histórica con relevamientos geotécnicos para estimar posibles cambios morfológicos del Río Chubut
- 6) Se integrará el punto 5 con modelo actual del terreno para elaborar un hipotético cauce del Río Chubut previo a la construcción de la presa Ameghino.

7.6 *Análisis hidrológico del régimen de caudales:*

El objetivo de esta actividad es la elaboración de curvas de duración de caudales para el escenario anterior a la construcción de la represa (Río Chubut sin regular) y para la situación posterior a la represa. Para la situación previa, Kaless et al. (2008) han analizado los documentos de los estudios realizado por el Ing. Antonio Pronsato (Pronsato, 1950) y elaborado la respectiva curva de duración en la sección del puente de Gaiman.

Para obtener la curva actual se analizarán los caudales en la ciudad de Gaiman, registrados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación. Estación de aforo N° 2295 – "Gaiman" con registros de caudales y niveles desde 25 de marzo de 1993.

Se realizarán los siguientes pasos para cada caso de estudio:

- 1) Se solicitará la información de niveles y caudales del periodo disponible.
- 2) Se verificará la completitud de los registros de caudales y/o niveles considerando un año hidrológico que inicia en el 1 de abril.
- 3) En caso de datos faltantes se recurrirá a la serie de niveles para transformarlos a caudales mediante una curva de aforo.
- 4) Para los años hidrológicos completos se procederá a realizar una curva de duración por cada año y otra curva media de todo el periodo.

7.7 *Análisis de los niveles de marea:*

Se realizará un estudio de mareas, cuyo principal objetivo será el de caracterizar los niveles en Playa Unión y el estuario del río Chubut.

Se efectuarán comparaciones con mediciones puntuales efectuadas en el estuario del río Chubut de forma de evaluar la incidencia del río en los niveles mareales de su desembocadura.

Se analizarán los niveles medios del mar en puertos patrones próximo a Bahía Engaño con registro desde principios de 1900 para verificar posibles cambios a lo largo del siglo.

7.8 Condiciones de borde y modelación hidrodinámica unidimensional

En la actualidad la desembocadura se encuentra mayormente aislada del oleaje. Sin embargo, el coronamiento de la escollera sur es de menor elevación en sus progresivas iniciales, respecto a secciones transversales de las progresivas siguientes. Al producirse la dirección predominante del viento, proveniente desde el Sur o Sur-Este, el oleaje incide rebasando esta zona de menor cota de coronamiento. Consecuentemente se produce una acumulación de material grueso sobre la margen derecha del río. Se realizará una modelación unidimensional a fin de verificar el efecto del posible remanso en el tramo del estuario debido a la obstrucción parcial de la sección del cauce en la desembocadura.

La variación del mar con dos ciclos de mareas diarias produce un régimen transitorio en el estuario.

Si bien en la estación de aforo ubicada en Gaiman el caudal es constante a lo largo del día, en el estuario el caudal y el nivel varían, como se ha mencionado anteriormente. El objetivo de la modelación unidimensional es determinar el hidrograma al inicio del tramo de estudio considerado un tramo de modelación desde la desembocadura hasta la localidad de Gaiman.

Se realizarán las siguientes actividades:

- 1) Se compararán imágenes satelitales para cuantificar la incidencia del oleaje en la morfología del cauce en proximidad de la desembocadura.
- 2) Se empleará el software HECR-RAS que implementa un modelo hidrodinámico unidimensional (software estándar para este tipo de aplicaciones).
- 3) Se modelarán distintos escenarios con diversos grados de obstrucción. Se compararán los esfuerzos de corte a lo largo del estuario (modelación en régimen permanente).
- 4) Se realizará una modelación en régimen transitorio del tramo comprendido entre Gaiman y la desembocadura. Se considerarán distintos caudales en la sección de Gaiman, de acuerdo a la curva de permanencia de caudales. Se considerará un ciclo de marea tipo para la condición de borde de aguas abajo. El resultado de la modelación será el hidrograma de caudales para la sección ubicada en el extremo de aguas arriba del tramo de estuario a analizar mediante modelación hidrodinámica bidimensional.

7.9 Modelación hidrodinámica bidimensional

Modelación con LICAN-LEUFU 2D:

Kaless (2013) implementó el modelo llamado LICAN-LEUFU 2D para el estudio de cauces con lecho de gravas. El modelo se basa en un esquema físico y

numérico desarrollado por Bernard (1993), llamado STREMR. El modelo original resuelve las ecuaciones de Reynolds (RANS promediadas en la vertical) para aguas poco profundas e incluye un modelo de turbulencia (modelo standard k- ϵ).

Kaless (2013) modificó el modelo de Bernard permitiendo la variación de la superficie libre y de este modo, definiéndola como otra variable dependiente (junto a las dos componentes del campo de velocidad). Esta modificación introdujo substanciales cambios en el algoritmo numérico para la solución de las ecuaciones diferenciales. Además, agregó un módulo sedimentológico que describe el flujo de sedimentos en el fondo (implementando el modelo de transporte de Wilcock y Crowe, 2003), y otro morfológico, sobre la estabilidad de las márgenes (mecanismo de colapso en suelos no-cohesivos). El conjunto de estos módulos constituye el modelo LICAN-LEUFU 2D.

Los datos necesarios para la aplicación del modelo son: modelo digital de elevación del terreno, mapa de cobertura de material granular, caudal o secuencia de caudales.

Modelación con IBER:

IBER es un paquete informático integrado desarrollado a partir de la colaboración del GEAMA (Grupo de Enseñaría da Auga e do Medio Ambiente – Universidade da Coruña), el Flumen Institute (Universitat Politècnica de Catalunya – y Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria) y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX.

Mediante este programa se puede simular flujos en ríos, reservorios, estuarios y costas incluyendo crecidas y flujo por rotura de presas.

En particular cabe resaltar las siguientes características: el flujo puede ser transitorio; análisis de varias fracciones granulométricas que constituyen los sedimentos (material no-uniforme); estado de no-equilibrio en el transporte de sedimento de fondo; transporte en suspensión; cambio morfológico del fondo (Cea, 2005; Bladé et al. 2014; Cea et al. 2020).

El modelo hidráulico resuelve las ecuaciones del flujo de Reynolds (RANS promediadas en la vertical) y la ecuación de continuidad. Para el cierre de dichas ecuaciones se emplea el modelo estándar k- ϵ , con ecuaciones de transporte promediadas en la vertical.

IBER implementa un modelo de transporte en estado no-estacionario de suelos no-cohesivos. Se puede modelar los casos donde el sedimento se mueve principalmente como carga de fondo y en suspensión (por separado o simultáneamente). Para el transporte de la carga de fondo se proveen de los modelos de

Meyer-Peter Müller, Van Rijn, Engelund-Hansen, Engelund-Fredsoe, y la posibilidad de incluir parámetros ad hoc y construir un modelo propio de transporte de sedimentos.

Esta última opción es interesante para calibrar el modelo de transporte. Con respecto al transporte en suspensión se ofrecen los modelos de resuspensión/deposición elaborados por Smith-McLean, Ariaturai-Arulanandan, y Van Rijn.

Se realizarán los siguientes pasos para cada caso de estudio:

- 1) Se delimitarán los bordes del área de estudio.
- 2) Se realizará una serie de corridas iniciales con el fin de definir: a) densidad de malla apropiada, b) tiempo de simulación para alcanzar el régimen estacionario inicial, c) performance del modelo de turbulencia y elección del modelo más simple.
- 3) Se construirá la información necesaria para el modelo de acuerdo a la grilla: elevación del terreno, características granulométricas y geotécnicas del terreno, rugosidad del terreno.
- 4) Se realizará una modelación de un ciclo de marea completo (o varios de ser necesario) evaluándose el transporte de sedimentos en el sector del tramo portuario, los cambios morfológicos en el estuario y la salida de sedimentos desde el estuario al mar.
- 5) Se calibrará el modelo de transporte de sedimentos en base a datos de colmatación de los trabajos de dragado.
- 6) La metodología se aplicará luego al caso de la morfología del río estimada para el escenario pre-dique.

8 CONCLUSIONES:

- **La navegabilidad del Estuario del Río Chubut:** En la actualidad, las vías de navegación del estuario no prestan un buen servicio, careciendo de un calado óptimo para las embarcaciones que operan, más precisamente en condiciones de bajamares. Este estudio brindará herramientas necesarias para una futura obra de Dragado primario, como también dragados de mantenimiento. Las obras de Dragado resultan ser de necesaria y permanente ejecución para los canales de navegación, con el fin de brindar un servicio acorde a las demandas, y particularmente en la zona del Estuario, cuyo proceso actual de sedimentación evidencia obras de Mantenimiento permanentes.
- **Gestión del territorio en la zona de Playa Unión:** Es necesario tener conocimiento de los factores que están afectando los procesos erosivos como también acumulativos en distintos tramos del Balneario de Playa Unión.

Este estudio brindará resultados que mitigarán estas incertidumbres, como ser la tasa de transporte de sedimentos anuales en el Río Chubut, cuyo régimen de caudales se encuentra impuesto por la regulación de la central hidroeléctrica.

- El transporte medio anual obtenido, permitirá cuantificar y efectuar comparaciones entre períodos anteriores y posteriores de la construcción de la Presa, y de qué manera impactan los mismos, como agente de aporte material en la costa de Playa Unión.

REFERENCIAS

- Gabriel Kaless, Félix Matamala, Belisario Monteros, Winston Greco. Cambios Hidrológicos y morfológicos en el Río Chubut aguas debajo de la Presa Florentino Ameghino.
- Gabriel Kaless, Érico Bianchi, Rodrigo Bastida, Sebastián Iglesias y Andrés Malnero. Variación del tamaño de sedimentos en el Río Chubut aguas debajo de la Presa Florentino Ameghino: Procesos y controles.
- <https://www.culturaargentina.org.ar/archivos/COLECTIVIDADES/Galeses.pdf>
- <http://bahiasinfondo.blogspot.com/2019/05/hace-154-anos-zarpaba-el-velero-mimosa.html>
- Sánchez, María Marcela, Beltrán, Vilma Jacqueline, Otero Jaime Adrián. Evolución Geohistórica de la ciudad de Rawson y el Waterfront-Puerto Rawson-Balneario Playa Unión.
- Beltrán, V. J. y Lienqueo, W.C., Salidas didácticas en Geografía Física: El caso del río Chubut y el dique Florentino Ameghino.
- Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda Presidencia de la Nación -Estudio de prefactibilidad para la remodelación y ampliación marítima de puerto Rawson.
- https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_maritima/desembarques/
- Abad, J. D., Buscaglia G. C., and Garcial M. H. (2008), 2D stream hydrodynamic, sediment transport and bed morphology model for engineering applications. Hydrological Processes, 22, 1443-1459.
- Barrios, I. (2000). El aprendizaje de la geografía en la praxis educativa indígena. Municipio Mara. Edo. Zulia. Tesis de Grado de la Maestría en Geografía Mención Docencia. Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 30(1), 1-10.
- Brandt S. A. (2000) "Classification of geomorphological effects downstream of dams". Catena Nro 40, 375-401.

- Bunte, K. and Abt S. (2001), Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTS-74. Fort Collins. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.
- Bastida, R., Crespo, E., Isola, G. 2014. Estudio de erosión en Arroyo Verde. Cátedra de Construcciones Hidráulicas Especiales. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Casanova Vidal, P. E. (2013). Geohistoria del Concepto de Desarrollo en la Conurbación Concepción-Talcahuano: Hitos Urbanos y Huellas Territoriales de Medio Siglo. Universidad de Chile. Facultad De Arquitectura Y Urbanismo. Escuela De Geografía.
- (CCyA Ingeniería, Tarela, P. (2015). Estudio de Impacto Ambiental de las Obras de Protección
- Contra la Erosión en Playa Unión.
- Cea L. (2005) PhD. An unstructured finite volumen model for unsteady turbulent shallow wáter flow with wet-dry fronts: numerical solver and experimental validation. Universidad de a Coruña.
- Cea L., Bladé E., Sanz-Ramos M., Fraga I., Sañudo E., García O., Gomez M., Gonzalez J. (2020). Benchmarking of the Iber capabilities for 2D free Surface flow modelling. Servizo de Pulicacóns. Universidade da Coruña.
- Escofet, A. (2007). El Análisis Retrospectivo en Zona Costera: Una Oportunidad para la Interdisciplina y el Diagnóstico Ambiental Orientado al Manejo.
- Garcia, M. H. (2008). Chapter 1: Sediment transport and morphodynamics, In: Sedimentation
- Engineering, ASCE Manuals and reports on Engineering Practice no. 110, M. H. Garcia (Ed), ASCE, 21-
- 165.
- Ichazo G., (2000). Carta de Peligrosidad gEológica 4366-IV Rawson. Boletín N° 304. Servicio Geológico Minero Argentino.
- Kaless G, Matamala F.M., Montero B. y Greco W., (2008). Cambios hidrológicos y morfológicos en el Río Chubut aguas abajo de la presa Florentino Ameghino. V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Tucumán, Argentina.
- Kaless, G. 2013. Stability analysis of gravel-bed rivers: comparison between natural rivers and disturbed rivers due to human activities. PhD. Dissertation thesis. Univeristà degli Studi di Padova, Italia.<http://paduaresearch.cab.unipd.it/5395/>
- Kaless G., Pascual M., Flaherty S., Liberof A., Garía Asorey M., Brandizi L., Pessacg N. (2019). Capítulo 22. Ecos de la tormenta de Comodoro Rivadavia en el Valle Inferior del Río Chubut. Aporte de sedimentos al Río Chubut desde la cuenca del Río Chjco. En: Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Paredes J (Compilador). Editorial de la Universidad Nacional del Patagonia San Juan Bosco.
- Kaless G., Donini, H., Bastida, R. e Iglesias, S. (2019). Estudio Hidrodinámico, Sedimentológico y Verificación de Niveles para el Proyecto "Muelle Corporación Puerto Rawson". UNPSJB.
- Lane, S. N. and Richards K. S. (1998), High resolution, two-dimensional spatial modeling of flow processes in a multi-tread channel. Hydrological Processes 12, 1279-1298.
- Newcomb, R. (1976). Doce enfoques operativos en Geografía Histórica. Randle, P. H. Geografía Histórica de la Argentina. Coordinadas de la Investigación: Cortes en tiempo, temas sistemáticos, regiones histórico-geográficas. Revista Estudios Geográficos.
- Owen, J., Hughes, G.; Herrera, G.; Serdá, A.; Griznik, M. (2005). Manejo Integral del Estuario del
- Pronsato A. D. (1950). Estudio geohidrológico del Río Chubut. Parte II. Dirección General de Agua y Energía Eléctrica. Revista Agua y Energía. Año IV. N° 29.
- Rodi, W. (1993), Turbulent models and their applications in hydraulics, A state-of-the-art review, 3rd Edition. IAHR Monograph Series, Taylor & Francis, New York, 104p.
- Rodriguez, J. F., Bombardelli, F. A. García, M. H. Frothingham, K. M. Rhoads B.L. and Abad J. D. (2004), High-resolution numerical simulation of flow through a highly sinuously river reach. Water Resources Management, 18, 177-199.
- Sadar, M. H. (1997). Cumulative impact and EIA: the development of a practical framework. En: EIA Newsletter 14 (C. Wood, A. J. Baker and C. E. Jones, eds). EIA Centre, University of Manchester M13 9PL, UK. Accesado a través de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07349165.1995.9726112>
- Tovar, R. (1996). El Enfoque Geohistórico. Valencia Venezuela: Editado por la Universidad de Carabobo.
- Wilcox D., (1994) Turbulence modeling for CFD. Dcw Industries, Inc. California. EEUU
- Wilcock, P. R. and Crowe J. C. (2003), Surface-based transport model for mixed-size sediment, Journal of Hydraulic Engineering, 129(2), 120-128.
- Valladares, A., 2004. Cuenca del Río Chubut. Subsecretaría de Recursos de Nación, Argentina.