



Análisis ambiental de la extracción y el uso de la arena del delta del Paraná

Environmental analysis of the extraction and use of sand from the Paraná delta

Zagel, Mauro. A.

Doctorando de la Universidad Nacional de Luján (UNLu) en la Orientación Ciencias Sociales y Humanas (<https://orcid.org/0000-0002-8104-9986>).
maurozagel@gmail.com

RESUMEN

El aporte del río Paraná permite el desarrollo de los servicios ecosistémicos que ofrece el delta del Paraná al área más poblada de Argentina. En la actualidad, uno de los principales servicios tiene que ver con la provisión de arena, cuya extracción y uso sobre el tramo final del delta y en el corredor metropolitano se ha intensificado notablemente.

A pesar de que aún no conoce escasez de arena, se prevé un agravamiento de la situación debido a las estimaciones de crecimiento del corredor metropolitano y de la producción de gas natural en Vaca Muerta. Más aún, se crea un escenario de retroalimentación donde la arena (y áridos) extraídos retornan en nuevas formas de presión, propias del avance metropolitano y agrario sobre los humedales y con ello, un aumento en el consumo de recursos naturales al que se asocia una mayor demanda de energía (gas natural, petróleo).

Así pues, se aplicó una perspectiva de pensamiento sistémica y multiscalar (espacio temporal), un estudio holístico cualitativo basado en aplicar el modelo DPSIR (Factores Determinantes-Presión-Estado-Impacto-Respuesta), lo cual permitió el reconocimiento de causas y consecuencias que degradan los servicios ecosistémicos del delta del Paraná y el bienestar humano, además de ofrecer nuevas respuestas a los efectos causados por la extracción y el uso de las arenas fluviales y de los médanos de Ibicuy.

ABSTRACT

The contribution of the Paraná River allows the development of ecosystem services offered by the Paraná delta to the most populated area of Argentina. Currently, one of the main services has to do with the provision of sand, the extraction and use of which has intensified significantly in recent years in the final stretch of the delta.

Although there is still no shortage of sand, the situation is expected to worsen due to estimates of growth in the metropolitan area and natural gas production in Vaca Muerta. Moreover, a feedback scenario is created where the sand (and aggregates) extracted return in new forms of pressure, typical of the advance of the metropolitan and agrarian on wetlands and with it, an increase in the consumption of natural resources associated with increased demand for energy (natural gas, oil).

Thus, a systemic and multiscalar thinking perspective (temporal space) was applied, a qualitative holistic study based on applying the DPSIR framework (Driver-Pressure-State-Impact-Response), which allowed the recognition of causes and consequences that degrade the ecosystem services of the delta and human well-being, in addition to offering answers to the effects caused by the extraction and use of fluvial sands and Ibicuy dunes.

Palabras Claves:

DPSIR
Delta del Paraná
Servicios ecosistémicos
Arena
Ambiente.

Keywords:

DPSIR
Parana delta
ecosystem services
sand
environment

Recibido: 28/05/2023

Aceptado: 21/06/2023

1. Introducción

La cuenca del Plata (Figura 1) está conformada por otras subcuenca de las cuales se destaca la del río Paraná con una superficie de 1.510.513 km², ocupando así, casi el 50 % de la cuenca del Plata, sobre el tramo final se halla el delta del Paraná y en conjunto con el tramo final del río Uruguay y el estuario del Río de la Plata conforman una entidad geológico-hidrológica dinámica de carácter sedimentario (Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la cuenca del Plata [CIC], 2016).

Este tramo es principalmente alimentado por el impresionante caudal sólido y líquido del río Paraná, considerado hidrológicamente como uno los diez ríos más importantes del mundo y el tercero en importancia para el continente americano (Comisión Mixta argentino–paraguaya del río Paraná [COMIP], 2020).

Figura 1. Cuenca del Plata.



Fuente: CIC (2016).

En cuanto al delta del Paraná, se encuentra ubicado en la baja cuenca de los ríos Paraná y Uruguay (Figura 2) y ocupa unos 19.000 km², aproximadamente el 4% de los humedales de Argentina. Ahora bien, de interés al estudio es su tramo final donde justamente se encuentra su parte más moderna y más antigua, el Bajo Delta con grandes ríos y el Delta Antiguo con sus médanos. Ambas áreas se diferencian por la disponibilidad, forma de explotación y calidad de la arena que poseen.

Otra excelencia del río y delta del Paraná es la de interconectar una vasta región de humedales que brindan una variedad de servicios ecosistémicos de los cuales se benefician las personas que viven dentro y fuera del delta; y que en consecuencia, también influyen sobre el desarrollo ecológico y social de esta región en diferentes escalas de espacio y tiempo.

En tal sentido, se pretende identificar y resaltar la importancia que tiene la arena y otros servicios ecosistémicos para el desarrollo natural, socioeconómico y el bienestar humano; evaluar el estado ambiental; reconocer las causas y consecuencias de las perturbaciones que sufre el delta y proponer acciones que auxilien la conservación de este humedal. En consecuencia, se realizó una descripción general considerando la interpretación sistémica escalara (espacio-temporal y socio-ecológica) del delta.

Figura 2. Delta del Paraná



Referencias: El Bajo Delta se extiende desde Ibicuy (sur de las islas de Las Lechiguanas) hasta el Río de la Plata y parte final del río Uruguay; el Alto Delta se extiende desde el sur de la ciudad de Diamante, hasta las islas de Las Lechiguanas; y el Delta Antiguo abarca desde el sur de la ciudad de Victoria hasta la ciudad de Ibicuy y desde ahí forma un arco hasta el río Uruguay. (Prat & Salomon, 1998).
Fuente: adaptado de Indicadores Georreferenciados de Sustentabilidad Ambiental (ISAg) en humedales, en el Delta del Paraná (<http://www.unsam.edu.ar/humedales/>).

2. Antecedentes y Marco teórico

La importancia ecológica y la complejidad ambiental del delta del Paraná ha sido reconocida de manera temprana por todos aquellos que estudiaron la región, principalmente reconociendo su alta productividad primaria neta y elevada biodiversidad que permiten una enorme productividad biológica y el sostén de actividades como la pesca, silvicultura, ganadería, recreación, extracción de agua y áridos (arena) para consumo, etc. (Malvárez, 1999; Quintana, 2018; Kandus *et al.* 2019; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

Sin embargo, la arena es uno de los servicios ecosistémicos más demandados y menos considerados por la sociedad actual; no obstante, algunas ONGs ambientalistas y la comunidad local comienzan a visibilizar impactos en el paisaje y un comportamiento insostenible en la explotación de los médanos de Ibicuy, aunque no de igual forma para las arenas fluviales debido a que son extraídas del lecho del río.

Ciertamente, durante la última década se ha intensificado la actividad extractiva debido a diversos factores que causan un aumento en los volúmenes de extracción de arena, esto es posible debido a una mayor capacidad tecnológica y de infraestructura que intensificó la presión minera sobre el delta. Es más, las arenas extraídas tienen la característica de retornar como nuevas formas de presión de las cuales se destaca la edificación y la producción de gas natural.

Resulta que la arena es utilizada en las nuevas técnicas de obtención de gas y petróleo (en menor medida) aplicadas en la región de Vaca Muerta, por lo que retorna de manera indirecta en forma de energía, movilizándose así la construcción y abasteciendo la demanda urbano-industrial de electricidad y combustible (gas), a lo que podríamos agregar la derivada contaminación propia del consumo urbano e

industrial.

Dicho esto, podemos decir que la relevancia de la posición que se le otorga al delta está dada por cómo se relaciona y mantiene los vínculos con otras áreas a través de sus servicios ecosistémicos (arena, agua) las cuales le dan significancia a su posición, vigencia y acrecientan su significación en el contexto relacional, las cuales estarán dadas principalmente por relaciones económicas y sociales que sobre ella puedan establecerse (Chiozza & Carballo, 2006; Iglesias, 2006).

Ciertamente la pertinencia de la investigación está en visualizar el dilema de la arena como recurso indispensable de la actual sociedad y de la estructura ecológica del delta, donde por un lado, el crecimiento metropolitano y la producción de energía (al menos actualmente) demandan arena y por el otro, como un recurso fundamental en el mantenimiento de procesos ecológicos y desarrollo geomorfológico del delta.

Consecuentemente, las propuestas que surgen de la presente investigación están enmarcadas en un pensamiento sistémico y en una interpretación escalar (espacio-temporal y socio-ecológica) de la dinámica sistémica del delta del Paraná, la cual permite acercarnos hacia una comprensión integral de las condiciones ambientales del delta y el desarrollo sostenible de la región.

3. Metodología

Se realizó una interpretación ambiental del tramo final Delta del Paraná de tipo holístico cualitativo, basado en una interpretación escalar (espacio-temporal y socio-ecológica) de la dinámica “sistémica” de este humedal, para lo cual se aplicó un análisis del ‘modelo’ DPSIR (del inglés: Driving-Force, Pressure, State, Impact, Response) como propuesta metodológica que considera variables de origen social y natural con repercusión sobre este espacio. Vale aclarar que el modelo DPSIR en su esencia no considera las fuerzas de origen natural sin embargo han sido tenidas en cuenta aquellas que contribuyen a la comprensión de las arenas del delta como servicio ecosistémico.

Conforme a ello, se utilizó un modelo de estudio analítico-descriptivo para lo cual fue necesario la observación e interpretación integral del delta, la descripción de aquellos eventos y características consideradas relevantes, la búsqueda de información/documentación pertinente y entablar comunicaciones personales (recuperables y no recuperables) con referentes locales.

4. Características de interés ambiental

Comprender la actual evolución del delta del Paraná y disponibilidad de arenas nos remite a su historia. A grosso modo, la región fue un gran estuario marino que se enclavaba hasta la localidad de Diamante en la provincia de Entre Ríos, luego comienza a retirarse el mar (con regresos menores) y a modelarse el delta en la dirección que hoy conocemos influenciado por el oleaje del litoral marino durante un complejo período de intensas variaciones climáticas que va de 6.000 a 1.000 años antes del presente. Sin embargo, no es hasta el reciente Holoceno Tardío que el delta es totalmente dominado por la acción fluvial.

En definitiva, el delta que actualmente conocemos fue enérgicamente forjado en los últimos 6000 años, esto explicaría la diferencia de paisajes entre las modernas islas del Bajo Delta y los médanos de Ibicuy del Delta Antiguo. También que las arenas fluviales tienen cierta recarga endémica mientras que los médanos no, debido a que han sido formados durante un finalizado complejo proceso geológico.

Para el Bajo Delta, otro rasgo distintivo moderno tiene que ver con el origen del agua y los sedimentos que arriban y lo conforman. El agua proviene mayormente de la lluvia atrapada en Brasil, donde el clima (fenómeno niño/niña), la velocidad de escorrentía (desforestación, canalizaciones) y las represas juegan un rol importante; mientras que el caudal sólido en su mayoría proviene de la región andina, donde el clima, tipo de suelo y actividades antrópicas como la minería favorecen la erosión, formando un espectáculo apreciable en la confluencia de los ríos Paraguay y Paraná.

En tal sentido, Rinaldi *et al.* (2006) afirma que las “islas del delta están conformadas por sedimentos fluviales clásticos, provenientes de las regiones andina y chaco-paranaense sometidos a un régimen de mareas y a fenómenos propios de ambientes litorales” (p. 5). Con respecto al caudal, Silva Busso *et al.* (2004) agregan que las aguas están relacionadas con precipitaciones locales y con el aporte de agua de la alta cuenca del río Paraná, donde el clima de esa región, en ocasiones, repercute en crecientes que pueden anegar e inundar extensas superficies, incluso el Bajo Delta, fenómeno conocido localmente como ‘creciente del Paraná’.

Características que han sido cuantificadas por la Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del río Bermejo y el río Grande de Tarija (COBINABE, 2010), al reconocer que el aporte de los sólidos suspendidos al río Paraná se componen por un 70 % del río Bermejo y un 6 % del río Paraguay a la altura de la estación hidrométrica del puerto de Corrientes, situada luego de la confluencia del Paraná con el Paraguay. A lo que podemos agregar que, el Bermejo solo representa el 2,5 % del caudal líquido medio anual del río Paraná a la altura de Corrientes.

Entonces, la mayor cantidad de sedimentos del sistema, unos 130 millones de toneladas, corresponden al limo arcilloso proveniente desde la cordillera de los Andes por el río Bermejo para luego entregarlos al río Paraná como carga de lavado, los cuales en gran medida se depositan en la zona deltaica y Río de la Plata. Vale aclarar que la carga sólida del río Paraná se compone mayormente de limos y arenas propias, con menor proporción de arcillas (Sarubbi *et al.*, 2004; COBINABE, 2010).

Lo aquí descrito es un ejemplo de la funcionalidad sistémica de la cuenca y de cómo la interpretación escalar nos permite comprender las relaciones causa-efecto que tiene la cuenca alta del Plata con el Bajo Delta e identificar como operan los factores externos a los límites usualmente establecidos para el delta; es decir, lo que sucede ambientalmente en una parte de la cuenca tiene injerencia en otra.

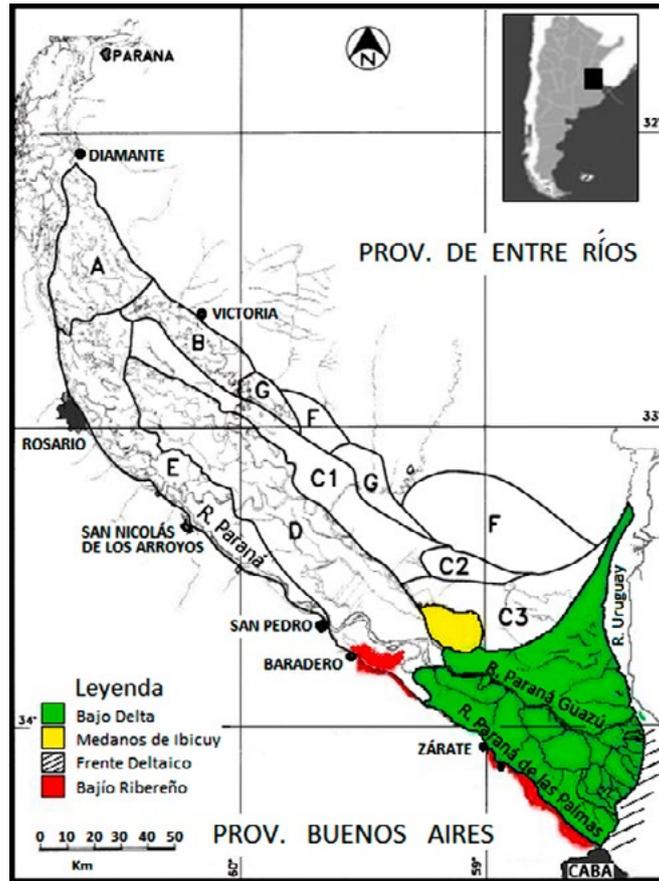
5. Coordenadas del área de estudio

El delta del Paraná es una región que se caracteriza por ser dinámica y con una elevada diversidad de paisajes; por eso, para intentar establecer sus límites geográficos se requiere de comprender cómo interactúan los elementos que lo componen, su funcionamiento y de cómo se inserta en su contexto (Matteucci, 2010). En la Figura 3 se consideraron unidades de paisaje ya caracterizadas por otros autores según los patrones de paisaje, régimen hidrológico, geológicos y el tipo de vegetación predominante (Bonfils, 1962; Malvárez, 1999; Violante *et al.* 2008; Kandus *et al.* 2019).

Claro está que los límites han sido mayormente establecidos por variables físico-naturales del humedal y relegando las sociales; no obstante, en la mencionada figura se destacan cuatro áreas de interés al estudio que por su posición respecto al corredor metropolitano (urbano, portuario e industrial) y relevancia ambiental permiten incorporar aspectos socioeconómicos a los límites del delta. Estas son:

- El frente deltaico y delta subáctico puede ser diferenciado por los depósitos que dominan su lecho. Sobre la plataforma Argentina hay arenas finas y limos aportados por el río Paraná; mientras que, sobre la plataforma de Uruguay hay arenas medias y gruesas debido a la existencia de paleo depósitos. (Codignotto & Medina, 2011)
- Las Praderas de la isla de Ibicuy (Malvárez, 1999) o 'médanos de Ibicuy' disponen de dunas superficiales con arenas silíceas demandadas mayormente por el sector energético e industrial.
- Los Pajonales y bosques del Bajo Delta (Malvárez, 1999) o solo 'Bajo Delta', disponen de arenas sobre el lecho de sus grandes ríos que son explotadas por los buques areneros y utilizadas mayormente en la construcción.
- Los Humedales de Paleobahías y Paleoestuarios Bonaerenses (Kandus *et al.* 2019) o Bajío Ribereño (Bonfils, 1962) sufren el movimientos de suelo y relleno de los humedales que demanda el avance urbano, industrial y portuario.

Figura 3. Unidades de paisaje



Fuente: modificado de Malvárez (1999).

Referencias: A. Bosques, praderas y lagunas de llanura de meandros; B. Isletas de praderas de albardones bajos; C1. Praderas de cordones y depresiones; C2. Praderas con isletas de bosque de cordones y depresiones; C3. Bosques, praderas y arroyos de cordones y depresiones; D. Praderas de antigua llanura de mareas; E. Bosques y praderas de las islas de cauce y fajas de meandros del río Paraná; F. Praderas y sabanas de la antigua llanura litoral; G. Arbustales de antiguos Deltas.

5.1. El frente deltaico y delta subáqueo

El delta subáqueo abarca unos 20.000 km² y está compuesto por el Río de la Plata con sus canales y bancos sumergidos que suelen asomar en su parte más próxima al delta subaéreo. Sobre esta área podemos distinguir dos sectores con lechos granulométricamente diferentes: el frente deltaico proximal constituido por arenas intercaladas con pelitas (fangolitas) y el frente deltaico distal por pelitas intercaladas con arenas (Codignotto & Medina, 2011). Ambos sectores podrían ser diferenciados solo con fines interpretativos por una línea imaginaria entre las ciudades de La Plata, Argentina y Colonia del Sacramento, Uruguay.

De interés al estudio es el frente deltaico proximal, también conocido como Río de la Plata superior, un área en transición entre los ríos Uruguay, Luján y distributarios del Paraná con el Río de la Plata (delta subáqueo) donde se encuentran algunos depósitos de arena y se localizan la mayoría de los bancos e islotes que emergen y se adosan temporal o permanentemente a las consolidadas islas que constituyen el frente de delta.

Esta área es considerada como la zona de mayor actividad fluviológica (COBINABE, 2010) y se caracteriza por sufrir el relleno constante lo cual obliga al dragado de sus canales navegables, los depósitos de arena poseen mayormente una tendencia grano decreciente hacia la desembocadura, el nivel de sus aguas es influenciado por las mareas lunares (sin cambios en la salinidad) y por los fenómenos climatológicos de la Sudestada y el Pampero, los cuales causan grandes crecientes y bajantes, respectivamente.

5.1.1 Los frentes de avance del delta en formación

Podemos distinguir dos frentes de avance o delta en formación, uno muy activo sobre el Río de la Plata (frente deltaico proximal) y otro menor sobre el río Uruguay; ambos sufren el constante relleno y por ello, son constantes las tareas de dragado y refulado de los canales navegables, siendo esta una presión de interés ambiental.

Como se anticipó, el más importante en cuanto a su crecimiento es el del Río de la Plata superior, este abarca el sector comprendido entre la línea imaginaria que une el Parque Nacional Aarón de Anchorena (Uruguay) y el límite norte de Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) hasta las ya conformadas islas del delta y desembocadura de los principales brazos del Paraná. Este se caracteriza por la velocidad con la que avanza donde suelen aflorar bancos e incluso a arraigarse vegetación de manera temporal hasta que por efectos hidrometeorológicos pueden ser erosionadas. Entonces, cuando logran consolidarse en islas y/o anexarse a otras, pasan a formar parte del delta subaéreo.

En condiciones hidrométricas habituales, el paisaje corresponde a una extensa superficie de agua de poca profundidad y en algunos sectores, entremezclada con islotes de pajonales (herbáceas medianas y altas) y tal vez, algunas leñosas. Sin embargo, durante las bajantes, afloran y se anexan los bancos del delta subaéreo a las ya conformadas islas e islotes provocando un aumento considerable de su superficie, mientras que, una Sudestada puede tapparlas e incluso desenraizar la vegetación.

En consecuencia, este sector tiene la particularidad de tener un paisaje que cambia según la altura del Río de la Plata y que no para de crecer debido al incesante transporte de sólidos que distribuyen los diferentes brazos del río Paraná. A fin de cuantificar este aporte, tomamos a [Sarubbi et al. \(2004\)](#) quien estimó que el río Paraná transporta 160 millones de toneladas anuales de sedimentos hasta su desembocadura (con el Río de la Plata y el río Uruguay), el cual estaría compuesto por un 60% limos, 25% arcillas y 15% arenas, de las cuales unos 15 millones de toneladas corresponde a la carga de fondo que viene dada por la arena transportada sólo por arrastre.

Claro está que estos sólidos terminan depositándose en el fondo del Río de la Plata aunque no de manera uniforme; es decir, la tasa de acreción varía dependiendo del río distributivo o brazo del río Paraná y si se está más próximo o lejano a la desembocadura de este. De acuerdo a estos porcentajes antedichos, [Gallo et al. \(2021\)](#) estimó una tasa de acreción vertical promedio que conforman mayormente de suelos pesados de 1,52 cm/año.

Ciertamente, todos los brazos que desagotan sobre el Río de la Plata y río Uruguay trasladan sedimentos y esto se refleja en la imagen satelital de la [Figura 4](#) donde se distingue la confluencia de las aguas del río Paraná y sus distributarios con el río Uruguay. En dicha imagen es posible interpretar la reflectancia del río y con ello diferenciar el agua, del río Paraná, la cual tiene un color cian debido a la mayor cantidad de partículas en suspensión (sedimento), mientras que el río Uruguay tiene un color cian azulado debido al menor transporte de partículas en suspensión y con ello una menor reflexión de la energía. Por consiguiente, es posible interpretar las zonas que son, más o menos influenciadas o afectadas por los caudales sólidos y líquidos del río Paraná, y como este predomina sobre el Río de la Plata.

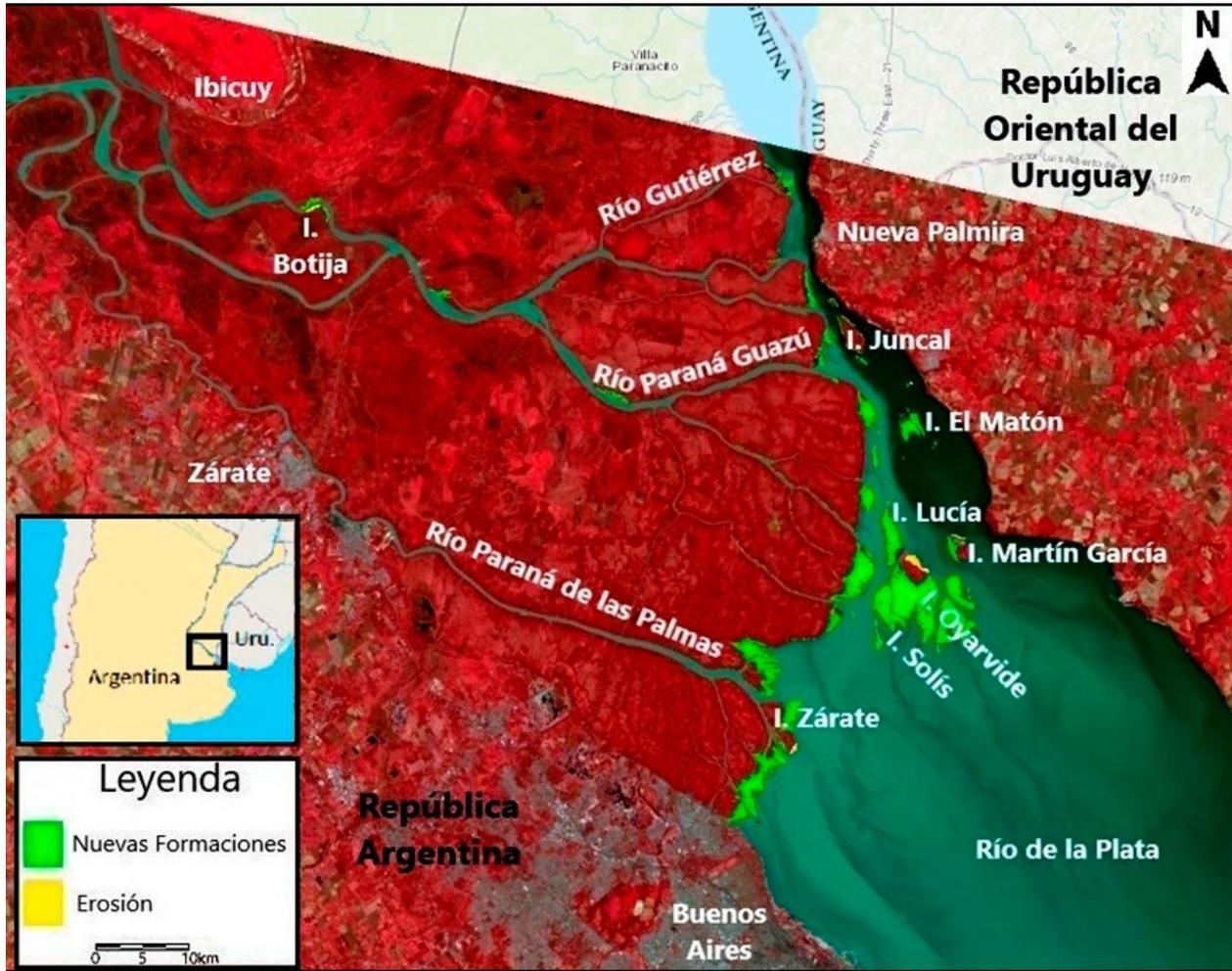
Además, la superposición de imágenes satelitales permitió diferenciar los cambios sufridos en la cubierta vegetal durante el período 1976-2022, donde el color verde corresponde a nuevas formaciones con vegetación mientras que el color amarillo a su desaparición (erosión). Se reconoce que sobre la plataforma uruguaya las islas Juncal y Juncalito son las que menores transformaciones han sufrido, mientras que la isla El Matón y Timoteo Domínguez (anexada a la isla Martín García), han registrado un importante crecimiento debido a la influencia y canalización de la zona. Esto dio a lugar a una particularidad no vista en otras partes del delta del Paraná, donde las islas de reciente formación aluvional comienzan a entremezclarse con los afloramientos de rocas precámbricas, tal como sucede con las islas Dos Hermanas y Martín García.

Sobre la plataforma continental Argentina se observa el área de mayor desarrollo debido a la influencia del principal distributivo, el río Paraná Guazú; así es como las islas Lucía, Oyarvide y Solís presentan crecimiento espectacular de casi diez veces respecto a la superficie original del año 1976, logrando alcanzar en solo 45 años un total de 52,5 km² de superficie vegetada y una (erosión) pérdida de 1,5 km². Vale aclarar que también se observa un crecimiento significativo sobre la isla El Matón (plataforma uruguaya) la cual triplicó su superficie vegetada, alcanzando 3,5 km² y una pérdida de 0,1 km².

De igual modo, sobre la desembocadura del Paraná de las Palmas y el canal Emilio Mitre se estima un avance que ronda entre los 50 y 100 metros/año ([Pittau et al., 2005](#); [COBINABE, 2010](#); [Medina, 2016](#)). Sin embargo, la interpretación visual sugiere que la isla Zárate, atravesada por el canal Emilio Mitre aumentó su superficie hacia el sur del canal mientras que al norte del mismo se registra una pérdida de superficie. Por consiguiente, la erosión y sedimentación sobre la mencionada isla podría estar siendo favorecida por

las tareas de mantenimiento y uso del canal de navegación.

Figura 4. Comparación del frente deltaico entre 1976 y 2022.



Fuente: elaboración propia sobre la base de GS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Detección de cambios lograda mediante la superposición de dos imágenes satelitales (R,G,B-5,4,3) obtenidas por la misión Landsat correspondiente a los días 10 de julio de 1976 y 07 de mayo de 2022.

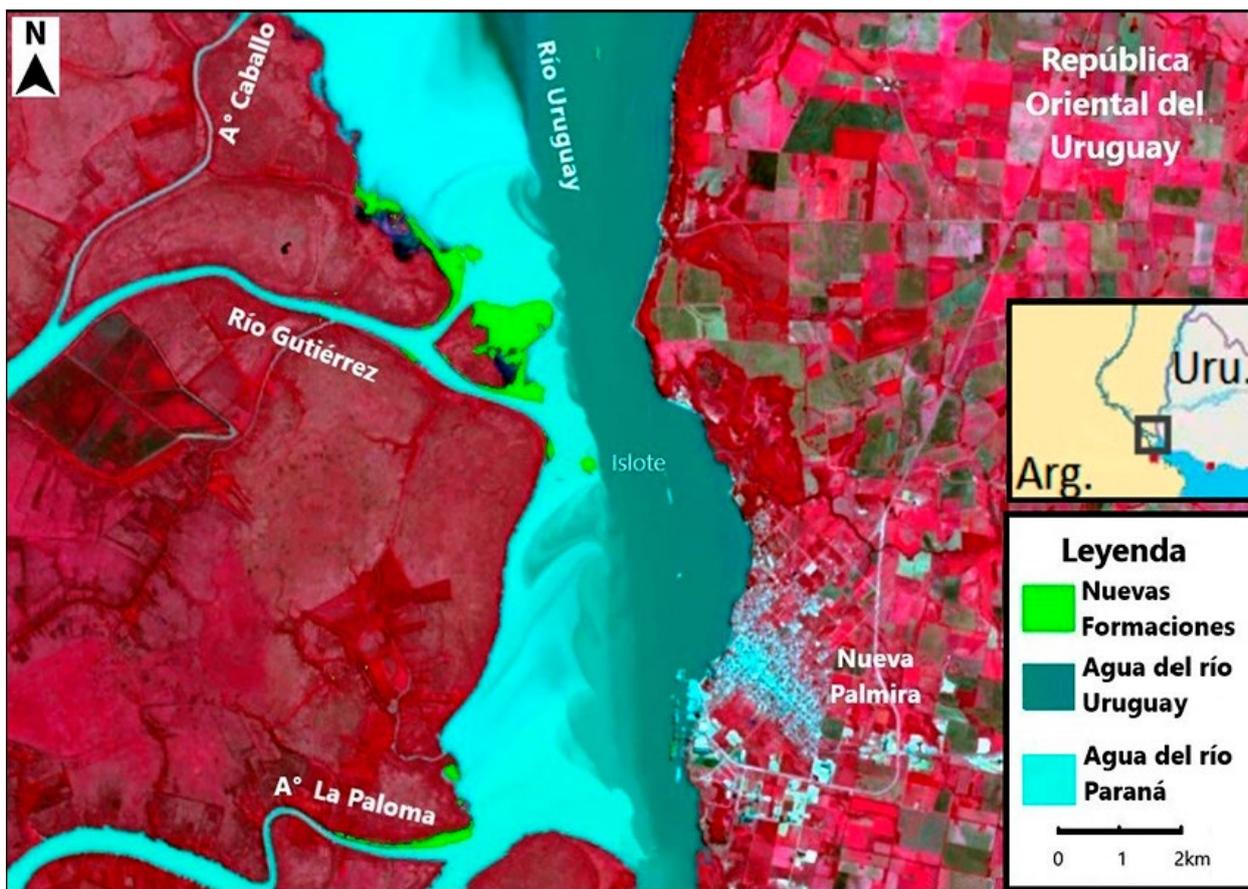
El avance del delta sobre el río Uruguay puede ser diferenciado en dos frentes, uno de ellos corresponde al frente que va desde el km 17 del río Uruguay, aguas arriba de la desembocadura del arroyo La Tinta, hasta el km 71,5 próximo al histórico Puerto Landa, punto extremo norte del Bajo Delta sobre el río Uruguay. Sobre este sector desembocan arroyos con escaso caudal y pendiente y no se aprecian cambios significativos en la cartografía histórica ni en las recientes imágenes satelitales, por lo que se lo considera ya desarrollado o con un crecimiento natural mínimo.

El otro corresponde al frente que se encuentra más próximo al Río de la Plata y abarca desde la desembocadura del arroyo La Tinta hasta el km 0 (cero) del río Uruguay, en proximidades a la ciudad de Nueva Palmira, Uruguay. Esta área despierta interés por ser la que más ha crecido sobre dicho río debido a que sobre ella ejerce influencia varios distributarios del río Paraná; no obstante, es notoriamente menor al delta en formación sobre el Río de la Plata.

Sobre este sector, se destaca el vertido del caudal sólido del río Gutiérrez sobre el río Uruguay, donde se ha podido estimar un crecimiento lineal aproximado de 28 metros/año para la isla formada sobre su desembocadura (Figura 5).

Para finalizar podemos afirmar que el crecimiento de la cubierta vegetal para todo el frente deltaico sobre el río Uruguay es mucho menor al del Río de la Plata, el cual fue estimado, aplicando la técnica de teledetección descrita en la figura anterior, en unos 2,5 km² para los últimos 46 años.

Figura 5. Avance del frente deltaico sobre el río Uruguay en el período 1976 y 2022.



Fuente: elaboración Propia sobre la base de GS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Detección de cambios lograda mediante la superposición de dos imágenes satelitales (R,G,B-5,4,3) obtenidas por la misión Landsat correspondiente a los días 10 de julio de 1976 y 29 de abril de 2022.

5.1.2 El choque de dos frentes

Sabemos que el delta crece y avanza sobre el Río de la Plata y se acerca hacia la CABA como resultado del depósito del caudal sólido que trae el río Paraná y que forma el frente deltaico. Fenómeno que estaría siendo incrementado por componentes antrópicos como la deforestación, la minería y el refulado de canales.

Al mismo tiempo, se produce una expansión del área metropolitana que también avanza hacia y sobre el delta mediante el desarrollo de emprendimientos inmobiliarios y/o la ocupación ilegal de terrenos. Proceso de ampliación y densificación del corredor metropolitano que provoca una barrera urbana al necesario intercambio entre el río y la llanura aluvial sobre las cuencas tributarias del sector continental e incluso sobre algunas islas deltaicas de la provincia de Buenos Aires.

Entonces se da un doble avance y en sentido opuesto que demandan arena y que genera un aumento de la entropía fundado en la interrelación que propician ambas áreas. Sin duda esta situación causa mayores presiones e impactos y la degradación de los servicios ecosistémicos (reciclado, depuración, agua, arena, otros) que ofrece el delta debido a que se transforma, fragmenta y contamina al sistema natural.

5.2. Médanos de Ibicuy

Los primeros pobladores que habitaron la región llamaban 'yvyku'i o *ibicuy*', que significa arena en guaraní, a los médanos y cordones de arenas blanco amarillentas cuarzosa existentes en este paisaje deltaico del sur de la provincia de Entre Ríos. Sin embargo, para comprender este paisaje hay que remitirse a la prehistoria del lugar siendo que "podría tratarse de un antiguo cuerpo deltaico, anterior a la última glaciación" (Prat & Salomon, 1998, p.37).

Resulta que durante la última ingresión marina hace unos 6.000 años el mar alcanzó su máxima posición formando el estuario más extenso conocido sobre la cuenca, si se incluye el efecto de las mareas

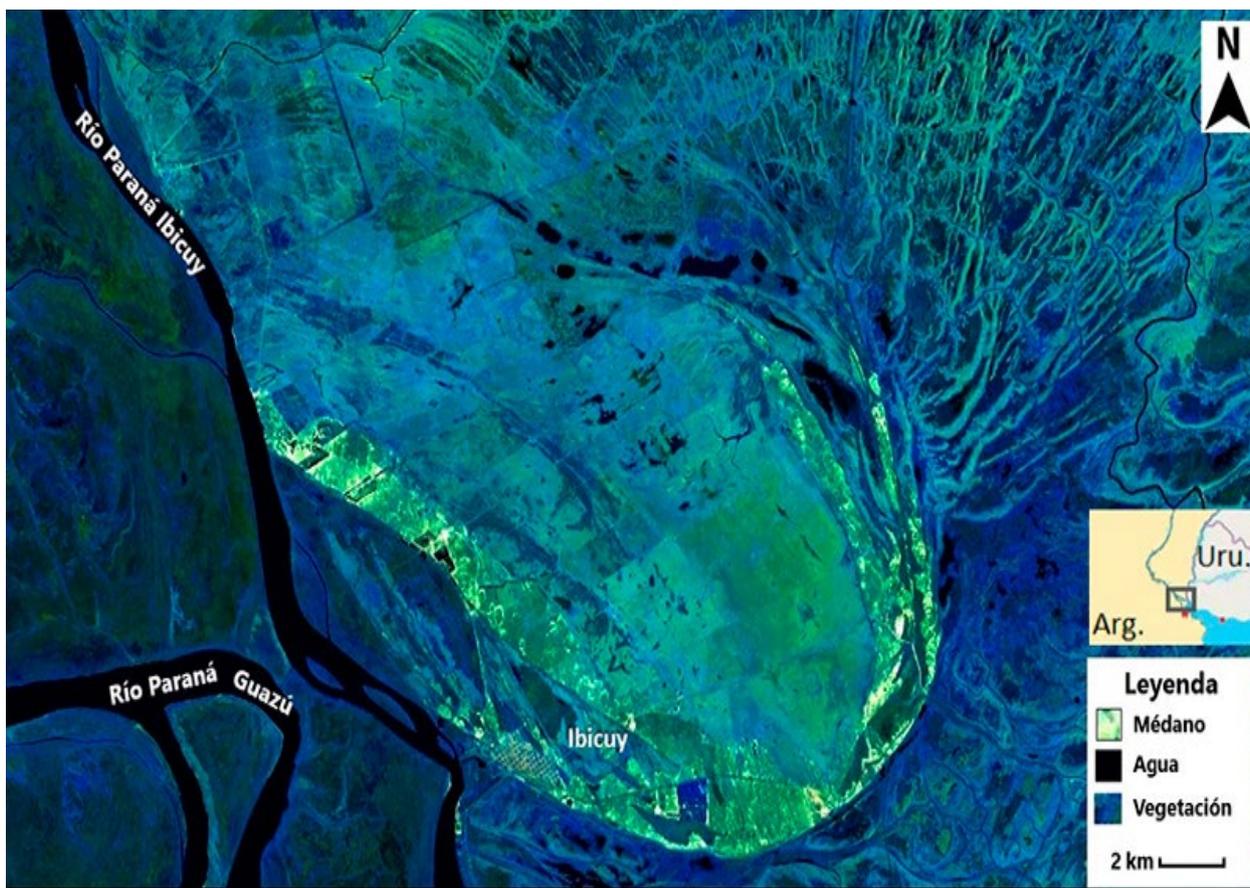
habría alcanzado unos 6 metros por encima del nivel actual. Sin embargo, no sería hasta aproximadamente 3.500 años que las nuevas condiciones hidrometeorológicas generaron la acumulación de los depósitos de arenas silíceas hiposalinas en los alrededores de Diamante y de Ibicuy, al sur de la provincia de Entre Ríos. (Violante *et al.*, 2008; Secretaría de Política Minera, 2019)

Para comprender mejor este proceso, Fernando Pereyra (comunicación personal, 19 de agosto de 2021) ha indicado que los arenales de Ibicuy son depósitos de áridos sedimentarios de la formación Itzaingó, como depósitos fluviales primarios de más de 2 millones de años, que han sido parcialmente reciclados por acción de los ríos, por la ingresión y regresión marina y el viento, dando lugar a la formación de los campos de dunas o médanos que hoy conocemos.

Los médanos de Ibicuy forman una elíptica duna transversal (Figura 6) típica de aquellos depósitos de arena forjados eólicamente, por su forma podemos afirmar una fuerte injerencia de los intensos vientos del cuadrante sudeste los cuales contribuyen a que la vegetación no logre fijarse. Sea por causas naturales (viento, geología) y/o antrópicas (minería, caminos, pisoteo del ganado y los incendios de pastizal) el suelo no logra consolidarse pudiendo observarse médanos desnudos como el de la Figura 7, que marcan una notoria diferencia de paisajes con los vecinos humedales.

Mayormente los médanos aún se conservan en estado natural con transformaciones poco severas; sin embargo, en los últimos años su situación está cambiando debido a que se ha intensificado su uso como yacimiento de arena. Esto se debe a las características mineralógicas de homogeneidad y pureza, su posición geográfica y accesibilidad (terrestre y fluvial), la disponibilidad de agua dulce utilizada en el proceso de lavado, entre otras ventajas comparativas para la producción de arena.

Figura 6. Imagen satelital infrarroja de los cordones medanosos de la isla Ibicuy, provincia de Entre Ríos.



Fuente: elaboración propia sobre la base de Google Earth Engine. Escena: Filtro de imágenes COPERNICUS/S2/ para el período 01/01/2020 – 30/11/2020. Combinación de bandas infrarrojas (R,G,B,-SWIR2, SWIR1, NIR) que realza las paleo líneas de costa y litoral (arena) y permite diferenciar la textura y la humedad de los suelos.

Figura 7. Arenas del Ibicuy.



Fuente: elaboración propia.

Médano que se encuentra sobre una estancia ganadera, próxima a la Línea del ferrocarril General Urquiza y el arroyo Cuartillo, el mismo forma parte del cordón sudeste y se caracteriza por mantener un buen estado de conservación natural. Foto lograda el 30 de octubre de 2020.

5.3. Bajo Delta

Corresponde al sector de islas consolidadas y en expansión más moderno del delta y en donde se encuentran los grandes distributarios del río Paraná. [Violante et al. \(2008\)](#) reconocen que posiblemente hace menos de 2000 años se intensificó el régimen de lluvias que incrementó fuertemente el caudal líquido y de sólido fluviales hacia el Río de la Plata promoviendo la formación del actual Bajo Delta del Paraná; en consecuencia, se reduciría la influencia estuárica con un desplazamiento del encuentro del agua dulce-salada (zona de Máximo Gradiente Salino) hacia la actual desembocadura del Río de la Plata. De esta manera se formaría el ámbito estuárico que hoy caracteriza a la región, en cuyo fondo evolucionan los ambientes sumergidos del delta (subácueo) mencionado en el avance de delta.

Precisamente, el Bajo Delta corresponde a la superficie que abarca la parte sudeste del delta bonaerense y entrerriano hasta su límite con el Río de La Plata y el río Uruguay. Sus paisajes son mayormente pajonales de herbáceas y bosques ribereños entremezclados con plantaciones forestales (Sauce y Álamo) y como bien describiera [Bonfils \(1962\)](#), donde más ríos y arroyos (navegables) existen debido a su juventud.

Sobre esta área se diferencian dos sectores que pueden ser reconocidos si comparamos sus extremos. Al noroeste, se encuentra el sector más antiguo del Bajo Delta con islas algo más elevadas y extensas que solo se inundan cuando se produce una crecida extraordinaria del río Paraná y/o una gran sudestada. Su geografía permite el uso silvícola, pastoril, apícola y en menor medida el agroindustrial a modo de pruebas de cultivos como los desarrollados en la región pampeana; asimismo, por ser el sector que recibe todo el caudal del río Paraná, los ríos distributarios mantienen una buena profundidad y recarga natural de arena, siendo periódica su explotación.

Mientras que, en el extremo sudeste se encuentra el sector más moderno, próximo al Río de la Plata, con un entramado de ríos y arroyos distributarios e islas menos elevadas y extensas debido a su juventud. Este sector no sufre los efectos de las crecientes extraordinarias pero sí son inundados por las recurrentemente mareas eólicas y/o lunares, situación que conlleva a que los emprendimientos agropecuarios sean de menor escala. Otra característica tiene que ver con la densidad poblacional que aumenta en proximidades del área metropolitana, la cual a su vez, es acompañada por la construcción de nuevas urbanizaciones y loteos que transforman el humedal.

En general el Bajo Delta es una extensa área donde es posible encontrar paisajes naturales debido

a su moderna formación y dificultad de acceso, sin embargo, cada vez más notoria es la intervención antrópica y la infraestructura asociada a caminos, canales, zanjeos y diques. Entre los usos más significantes encontramos: predios forestales, ganaderos y/o silvopastoriles; espacios destinados a la recreación y el turismo (clubes, camping); la operación portuaria y de buques; áreas residenciales (barrios cerrados), asentamientos informales y Áreas Naturales Protegidas [ANP].

5.4. Bajío Ribereño

El Bajío Ribereño (Bonfils, 1962) o los Humedales de Paleobahías y Paleoestuarios Bonaerenses (Kandus *et al.*, 2019) forman un área de amortiguación entre el Bajo Delta y las barrancas del Paraná o los valles inundables de los arroyos y ríos pampeanos. El interés sobre esta área no radica en la extracción de arena sino en que ha sido fuertemente transformada por el avance metropolitano que demanda el movimiento de suelos con el relleno de áridos autóctonos y arena para su edificación; además de generar un cerco urbano que afecta el intercambio ecológico de los ríos del delta y con la llanura aluvial.

El Bajío Ribereño es un pequeño y exclusivo humedal bonaerense, una franja paralela al río Paraná de las Palmas y río Luján de no más de 1.500 km² que presenta características naturales no encontradas en otros sectores del delta. Su fisionomía registra en algo la sucesión de eventos históricos de transgresión y regresión marina que permitieron la formación de humedales con una elevación algo superior al de las islas del Bajo Delta, característica que permite amortiguar en parte los impactos de las crecientes del Paraná creando entonces una topografía beneficiosa tanto para los desarrollistas inmobiliarios como para muchas especies como el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*) que buscan refugio cuando las islas se inundan.

Más aún, su posición de ecotono permite registrar una biodiversidad mayor al resto de la región, sin embargo tiene un bajo porcentaje de superficie protegida. Según estimaciones propias, menos del 5% de este ecosistema está protegido y de seguir la presión que ejerce el corredor metropolitano es esperable que en un tiempo no muy lejano se degraden y/o desaparezcan los últimos relictos naturales que aún existen.

6. Arenas que construyen un delta, una megaciudad y dan sostén energético

Después del agua, la arena representa el mayor volumen de materia prima utilizada en la Tierra por su indefectible uso para la producción energética, industrial y de la construcción convirtiéndose en un recurso esencial para la región y el país (United Nations Environment Programme [UNEP], 2014). De igual modo lo son para la geomorfología del delta del Paraná siendo que el agua y la arena son factores determinantes para su desarrollo y mantenimiento.

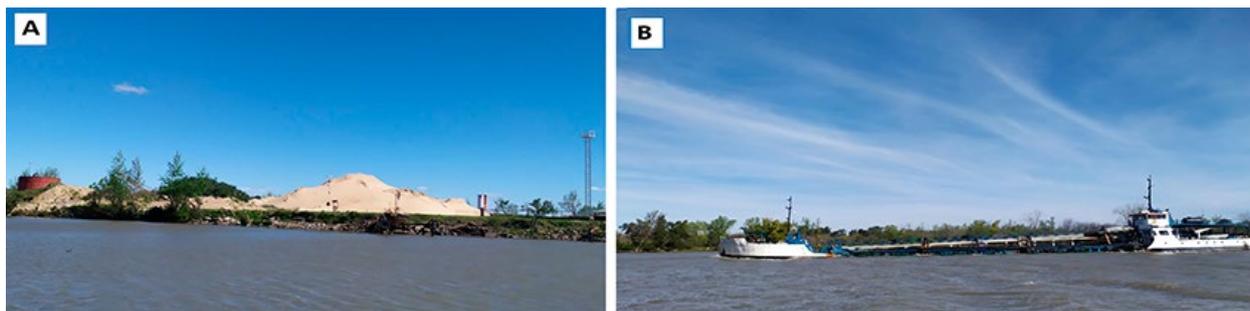
De acuerdo al tipo de explotación, características mineralógicas, usos y distribución espacial es posible diferenciar dos grupos de arena: las del lecho del río Paraná y la de los médanos de Ibicuy.

6.1. Arenas del lecho del río

El río Paraná se caracteriza por tener en su lecho arenas y un importante caudal líquido y sólido que le da dinamismo al crecimiento natural del delta. Sus arenas son aptas para la construcción por lo que han sido utilizadas en la construcción del corredor metropolitano; el cual a su vez, ha motorizado viciosamente su explotación. Sin embargo, la propia dinámica del río permite la reposición natural de la arena extraída.

Las empresas dedicadas a la extracción lo hacen mediante la técnica de refulado y para ello utilizan básicamente dos cosas: un buque draga o arenero que prácticamente se encarga de llevar adelante todo el proceso productivo y un puerto de acopio, secado y selección de donde se comercializa la misma (Figura 8).

Figura 8. Puerto arenero y buque arenero.



Fuente: elaboración propia. En la [Figura 8.A](#) se observa un depósito de arena sobre un puerto de escasa infraestructura ubicado en el partido de Zárate. En la [Figura 8.B](#) se observa navegando el río Paraná de las Palmas el buque arenero 'Ibicuy' de 54 m de eslora, cargado de arena hasta la línea de francobordo. Foto lograda el 11 de septiembre de 2021.

Basta con considerar la capacidad de producción declarada para magnificar la presión que sufre el ecosistema fluvial; en el sector entrerriano la Dirección General de Minería de la provincia de Entre Ríos en su informe de minería 2010 registró operar sobre los 92 km de río concesionados un total de 45 buques con capacidad de extraer aproximadamente 52.000 toneladas de arena saturada. Mientras que para el sector bonaerense, la Dirección provincial de Minería en su Registro de Productores Mineros de la provincia de Buenos Aires 2016 reconoció otros 39 buques areneros.

Claro está que el número de buques no es vinculante con los volúmenes explotados, siendo que hay buques que tienen mayor capacidad de bodega, sin embargo cada vez es más frecuente y notorio observar buques de mayores dimensiones.

Con mayor detalle [Caballé et al. \(2005\)](#) como se citó en [Rolny et al. \(2016\)](#) reconoce para el año 2004 que la producción (total) de arena del delta del Paraná alcanzó 720.000 toneladas/mes y destaca la importancia de este mineral como fuente de agregados finos para la construcción. Dato que incluye la producción extraída por la flota de buques areneros y podría incluir la poco significativa, en ese momento, producción de las canteras a cielo abierto de Ibicuy, provincia de Entre Ríos.

Cabe resaltar que las arenas fluviales tienen cierta reposición y son mayormente suministradas por el propio lecho y transportadas como carga de fondo (granulometría gruesa y media) y carga suspendida (granulometría fina). En tal sentido, [Amsler et al. \(2007\)](#) estimó para condiciones hídricas normales unos 2,2 millones de toneladas como carga de fondo y 23 millones de toneladas a la carga suspendida para el Paraná Medio; de los cuales la arena ocuparía un porcentaje <15% de los sedimentos transportados.

Con estos datos, se podría estimar que la tasa de extracción de arena del lecho del río en el delta del Paraná representa aproximadamente un tercio de la reposición natural media, dato que se torna significativo si se considera que la arena media y gruesa son las más demandadas y las que menor recarga tienen. No obstante y pese a los niveles extraídos el avance del delta no parece haber perdido su ritmo aunque este también dependerá de los caudales que transporte el río, siendo que en periodos secos se reduce notoriamente la recarga de este mineral.

6.2. Arenas de los Médanos de Ibicuy

Se caracterizan por ser un depósito (masivo) de arenas silíceas con cierta extensión distribuidos en forma relativamente uniforme que forman médanos sin reposición natural, por lo que su uso implica su agotamiento. Este yacimiento es explotado en canteras ([Figura 9](#)) de donde se extrae el mineral para ser lavado, clasificado, secado y transportado en camiones con batea de volteo, tren o buque hacia otros destinos. Por sus características físico-químicas esta ha sido utilizada por la industria del vidrio, cementera, metalurgia, química, filtros, entre otras, y más recientemente por la industria del petróleo, la cual ha logrado dominar la demanda.

Ciertamente, desde el 2010 las arenas del delta, en especial las de Ibicuy, son cada vez más utilizadas para la técnica de fractura hidráulica o fracking como práctica de extracción de recursos no convencionales 'shale' de gas y petróleo. Como resultado, surgen nuevas canteras y un incesante pasar de camiones que transportan la producción hasta la provincia de Neuquén para finalmente ser utilizada en la formación sedimentaria de gas y petróleo de Vaca Muerta.

Según estimaciones de la [Secretaría de Política Minera \(2019\)](#), el consumo de arena (silíceas) para la explotación de petróleo no convencional en 2015 fue de casi 0,96 millón de toneladas, mientras que para el 2030 se demandará 3 veces más. Informe y visible crecimiento que alarman a los diferentes actores de la comunidad ibicuense.

Figura 9. Cantera de arenas.



Fuente: elaboración propia. Las canteras pueden tener 6 metros de profundidad y por su logística suelen radicarse próximo a los caminos principales que surcan la región. Foto lograda el 11 de septiembre de 2021.

7. Factores determinantes de las condiciones ambientales del delta del Paraná

El desarrollo social, demográfico y económico de la región es impulsado a través de las actividades que la sociedad ensaya, las cuales se convierten en fuerzas que motorizan presiones que pueden alterar o transformar el ambiente.

En nuestro caso se compone de aquellas situaciones ambientales (naturales, sociales) constituidas por procesos y actividades económicas, políticas y culturales que buscan satisfacer las necesidades de la sociedad y la generación de riquezas mediante el consumo de servicios ecosistémicos, en especial de la arena.

Conviene subrayar que el modelo DPSIR en su diseño no considera las fuerzas de origen natural; sin embargo, la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos que se asocian al cambio climático y tienen componentes sociales, hace que se constituyan o al menos se consideren como factores sinérgico determinantes.

Escalarmente vale aclarar que el área está condicionada por lo que sucede dentro y fuera del delta, especialmente en la cuenca y en el lindero sector continental de Argentina y Uruguay; sin embargo, en el presente trabajo se prioriza el territorio argentino debido a que casi la totalidad del delta se encuentra sobre esta jurisdicción.

Finalmente, se reconocen fuerzas motrices que están interrelacionadas y que intervienen en el área de estudio, las cuales han sido simplificadas y agrupadas en:

- Económicas: Desarrollo de la infraestructura pública y privada. Producción industrial, petróleo, vidrio, otros. Demanda energética.
- Sociales: Densificación y crecimiento del área metropolitana. Crecimiento Poblacional. Consumo de recursos y movimiento de suelos.
- Naturales: Clima. Hidrología (estiaje/crecida).

8. Presiones

Al tratarse del tramo final de un delta en desarrollo, se han tenido presente aquellos factores ambientales determinantes que construyen el paisaje y que son causante de presiones e impactos sobre

el humedal (estiajes, crecidas, biodiversidad, economía, uso del suelo, extracción de recursos naturales, cultura).

Aclarado esto, se han reconocido presiones relevantes relacionadas al ciclo económico de la arena (extracción, traslado, acopio y consumo de arena), a las políticas públicas asociadas a la construcción (hormigón) y el desarrollo energético (petróleo y gas no convencional). Presiones que se desarrollan de manera diferente según su escala de interacción espaciotemporal y que pueden distinguirse en dos grupos diferentes según sus consecuencias sobre el sistema deltaico:

Presiones del paisaje: extracción de arena; tráfico de buques areneros y camiones; cambios en el lecho del río y médanos; variaciones hidrometeorológicas (cambio climático) y de la biodiversidad.

Comportamiento humano: incentivos a la actividad de la construcción; programas gubernamentales de infraestructura y energía; cultura arquitectónica; cambios en la demanda; fomento al consumo/inversiones; conciencia ambiental.

9. Estado

El estado es la expresión en el territorio de las interrelaciones del sistema deltaico (complejo, dinámico, multi-temporal y multi-escalar). Su descripción e interpretación, en un momento determinado, facilita información que explica al delta y la influencia de los diferentes componentes del paisaje que construyen la situación ambiental de la región, esto permite alcanzar el conocimiento necesario para identificar impactos y respuestas existentes y necesarias para la conservación del delta.

En la [Tabla 1](#) se destacan según su origen, diversos indicadores del estado del ambiente expuestos a cambios (negativos) y que son exacerbados por la extracción/uso de la arena fluvial y de los médanos.

Tabla 1. Eventuales cambios del estado ambiental sufridos por la extracción de arena.

Estado del Ambiente		
Natural	Ecosistema Fluvial	Cambios en la calidad del agua y turbidez. Desequilibrio de nutrientes. Alteración de la rugosidad y profundidad del río. Reducción de la productividad ecosistémica (bentónica). Pérdida de vegetación costera. Erosión de las orillas. Alteración de corredores biológicos. Cambios en la biodiversidad.
	Ecosistema de Médanos	Cambios en el paisaje. Cambios en la biodiversidad. Pérdida del suelo/médanos. Inundación de predios. Contaminación por químicos (floculantes) y residuos no peligrosos (ordinarios). Alteración de la calidad del agua subterránea. Dispersión de especies.
Social	Aumento del costo operativo de extracción. Insatisfacción del turista (pérdida de costa y playas). Pérdida de ingresos/pesca. Conflicto de convivencia/ usos. Transformación del paisaje. Ruidos. Accidentes navales y viales. Accidentes en canteras inundadas. Daños a infraestructura.	

Fuente: elaboración propia.

10. Impactos

Los impactos son aquellos cambios en el estado ambiental que son y/o han sido provocados por las fuerzas y presiones propias, próximas o subyacentes al delta, las cuales operan en múltiples jerarquías (espaciotemporal) y cuya repercusión dependerá, de la resolución de análisis/gestión y si son o no, socialmente reconocidos.

Sobre el delta es esperable que los impactos se agraven progresivamente ante todo por las presiones externas (subyacentes), ejemplo de ello son los pronósticos de: crecimiento poblacional; aumento en el consumo de la arena utilizada en la construcción (viviendas, infraestructura) y en la extracción de hidrocarburos (gas y petróleo); previsiones hidrometeorológicas de la región (cambio climático).

Ahora bien, para el caso de la extracción de arena existe una diferencia al momento de reconocer los impactos entre lo que sucede en los médanos y el río. Sobre los médanos de Ibicuy los impactos son visibles y los propios de la actividad minera que se realiza en canteras a cielo abierto, donde se emplean maquinarias pesadas. Sin embargo, para el medio fluvial, al encontrarse sumergido hasta 30 metros de profundidad, estos pasan desapercibidos y son de difícil reconocimiento.

Es sabido que el dragado y/o refulado altera e impacta las condiciones físicas, químicas y biológicas del lecho del río y en menor medida, en las zonas adyacentes. En esa misma línea, [Wetlands International \(2019\)](#) nos dice que la remoción del lecho por dragado, extracción de material, turbulencia y descarga de

sedimentos, provoca la destrucción del hábitat de especies meroplánctónicas, especies que transcurren parte de su ciclo de vida en el bentos y que luego pasan a formar parte del plancton.

Es decir, el impacto de la actividad estaría dado por la succión (eliminación) del lecho de río y además, por la eliminación del material no deseado (residuos) el cual forma una pluma sedimentaria que enturbia el agua y se dispersa corriente abajo, incluso si los sedimentos logran depositarse y formar un manto, puede que se provoque el enterramiento del lecho. Entonces, podría ser que en un sector se provoca una eliminación y en otro el cubrimiento del lecho; ahora bien, poco se sabe de esto y de lo que sucede en su entorno, como la inestabilidad del veril y/o de la costa.

A continuación, en la [Tabla 2](#) se clasifican según [FAO \(2021\)](#), los servicios ecosistémicos y el bienestar humano impactado sobre el área de estudio en relación a las consecuencias de la extracción y el consumo de arena. Vale aclarar que la misma está directamente relacionada con la figura del punto anterior.

Tabla 2. Servicios ecosistémicos y bienestar humano propenso a impactos

Impactos	Servicios Ecosistémicos
	Abastecimiento: pérdida de arena y material de relleno; calidad de la provisión de agua (río y napas); menor oferta de alimentos; pérdida de materiales de construcción (madera y juncos); menor oferta de combustible (leña). Apoyo: pérdida de biodiversidad y hábitat de especies; fragmentación del corredor biológico; formación/erosión de islas/bancos; menor producción (pesca, apicultura, silvopastoril, agrícola); alteración de ciclos biogeoquímicos (ciclo del carbono, agua, nutrientes, etc.); disfunción del transporte fluvial. Regulación: frecuencia en las variación hidrometeorológica extrema (inundación y sequía); alteración del oleaje; cambios en la calidad del aire, ruidos; contención de enfermedades y especies invasivas; pérdida de suelos y fertilidad. Culturales: desagrado del paisaje; disminución del disfrute y recreación; dificultad de realizar actividades deportivas, espirituales, religiosas, artísticas, educativas, científicas; pérdida de identidad/reconocimiento.
	Bienestar Humano
	Prosperidad económica: pérdida de ingresos (pesca, turismo); aumento del costo operativo de extracción y del producto final; disminución de la oferta de recursos naturales; insatisfacción del turista (pérdida de costa y playas). Salud y seguridad: accidentes en canteras inundadas; contaminación; daños a infraestructura vial; accidentes de tránsito (buques y camiones). Sociocultural: conflicto de convivencia/ usos; cambios en el uso del suelo (avance sobre áreas silvestres); antropización del medio, menor interacción humana con la naturaleza y pérdida de inspiración.

Fuente: elaboración propia.

11. Respuestas

Cuando socialmente se reconocen los impactos y/o las fuerzas y presiones que motorizan los impactos que degradan la integridad del ambiente y con ello el bienestar de las personas pueden darse dos situaciones, la primera es que actores sociales reaccionen y elaboren respuestas para afrontar las causas y efectos del deterioro ambiental; o en segundo lugar, que la sociedad acepte estos y no haga nada, estando dispuesta a soportar los impactos y el deterioro ambiental, cediendo calidad de vida futura a cambio de beneficios inmediatos. Claro está que es de interés a la presente investigación la primera de ellas.

A continuación, en la [Tabla 3](#) se detallan las respuestas reconocidas a lo largo de la investigación. Las mismas, han sido agrupadas en las diferentes etapas del modelo DPSIR, no obstante y al tratarse de un sistema complejo, puede que se comporten de manera transversal sobre otras etapas y niveles de gestión, y que además, pueden tener mayor o menor jerarquía en los distintos momentos.

Muchas de las medidas reconocidas no nacieron con el objetivo directo de apaliar las transformaciones que sufre el delta a causa de la extracción y uso de la arena, aunque sí son funcionales a tal fin. Por último, debemos aclarar que puede haber un cumplimiento ineficiente o incumplimiento de las mismas relegando su validez.

Tabla 3. Indicadores de respuesta que reflejan la iniciativa social

Etapas del DPSIR	Acciones Adoptadas
Respuestas sobre los factores determinantes	Fortalecimiento de políticas e instrumentos fiscales. Campañas de difusión para el ahorro energético. Beneficios impositivos al menor consumo de gas. Creación de áreas naturales protegidas (ANP). Subsidios al transporte público. Precio de mercado de la arena. Promoción e incorporación de diversas fuentes de energías renovables a la matriz energética nacional.
Respuestas sobre las presiones	Registros, licencias, permisos, certificaciones y canon minero. Fiscalización de minería ilegal (zonas no autorizadas). Sistema de Identificación Automática (SIA) en buques areneros. Marco legislativo de regulación y control.
Respuestas sobre el estado ambiental	Investigaciones científicas sobre los humedales. Propuestas (académicas) de materiales alternativos como materias primas. Construcción (en seco) con elementos prefabricados. Reclamos de ONGs ecologistas.
Respuestas sobre los impactos	Intercambio de información (autoridades-empresas) para el manejo de residuos mineros y el cierre de canteras. Prohibición del sistema de dragado como mecanismos de extracción en canteras. Implementación de sistemas de recupero, reutilización y reciclado de productos y el agua en canteras. Control ciudadano (denuncias, amparos, pedidos de informes).

Fuente: elaboración propia.

12. Resultados

La realización del análisis DPSIR (Tabla 4) adaptado a una interpretación escalar (espaciotemporal) y que considera variables naturales permitió comprender de manera holística las causas y consecuencias de la extracción y uso de la arena obtenida del tramo final del delta del Paraná, su relación con otros servicios ecosistémicos, la importancia de estos para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico de Argentina, además de reconocer y sugerir respuestas a los problemas identificados.

Se logró reconocer que el delta, en relación al ecosistema fluvial y de médanos, aún conserva la integridad de las características naturales y un amenazante incremento de las actividades humanas no sostenibles que generan presiones e impactos ambientales; en consecuencia, comienza a mostrar signos de degradación de la calidad de los servicios ecosistémicos del humedal. Situación que se agrava cuando las actividades humanas se potencian con eventos extremos del componente natural, los cuales de manera sinérgica amplían los efectos que repercuten y condicionan el humedal. Dicho esto, se reconoce la importancia de actuar prontamente.

Ciertamente, la investigación visualiza el dilema de la extracción de arena como recurso indispensable tanto para la estructura geomorfológica y ecológica del delta como para el desarrollo socioeconómico de la región, al mismo tiempo que su uso repercute en nuevas formas de presión, impactos y degradación.

También se evidenció que los diferentes actores sociales hacen un abordaje limitado o intrascendente de las causas y consecuencias de los impactos, siendo el Estado (en todos sus niveles) el actor de mayor jerarquía y responsabilidad, aunque con respuestas mayormente limitadas e indirectas a las presiones que ejerce el ciclo económico de la arena, evidenciando fines recaudatorios y no así, el manejo sostenible.

Se identificó una mayor presión y urgencia de actuación sobre los médanos de Ibicuy, lo cual no significa que deba relegarse el ecosistema fluvial; por lo tanto, para atender la integridad ambiental de ambos ecosistemas y del resto de la región, se reconoce la necesidad de implementar las respuestas y acciones de gestión propuesta (Tabla 5) de forma coordinada entre los diferentes actores y escalas de actuación.

Respuestas que reconocen las transformaciones causadas por el (insostenible) ciclo económico de la arena y que serán de ayuda para repensar la toma de decisiones y el modo de actuar sobre la región y a lo largo de toda la cuenca, siendo que cada vez más, las presiones y eventos que sucede en otras regiones actúan de manera concausal y con mayor responsabilidad en los impactos que sufre el tramo final del delta del Paraná.

Finalmente se reconoce que parte de la población y de los grupos mayoritarios de poder que tienen un papel importante en la transformación y en las respuestas a implementar sobre el delta, tienden a ignorar o desestimar las consecuencias que sufre este humedal; en consecuencia, no se adoptan acciones que afronten las problemáticas, siendo en este caso necesario reforzar la educación ambiental.

Tabla 4. Causas y consecuencias de la extracción y uso de las arenas del delta del Paraná.

Modelo DPSIR	Fuerzas Motrices o Factores determinantes: Desarrollo de la infraestructura (pública y privada). Densificación y crecimiento del área metropolitana. Crecimiento poblacional. Consumo de recursos y movimiento de suelos. Producción Industrial (Materia prima). Demanda energética (gas y petróleo). Cambios hidrometeorológicos.
	Presiones: Volúmenes de arena extraídos (sin control). Almacenaje, transporte y embalaje (deficientes). Actividad de la construcción (crecimiento, incentivos). Programas gubernamentales de infraestructura. Precio impulsado por la demanda. Consumo innecesario (obras abandonadas, inadecuadas). Fomento al consumo de arena. Conciencia ambiental (desconocimiento, desinterés). Inundaciones y las bajantes excepcionales.
	Estado del Ambiente: Hábitat de peces y reducción de la reproducción. Alteración de ecosistemas bentónicos y de médanos. Desequilibrio de nutrientes y sedimentación. Cambios en la corriente y calidad del agua. Inestabilidad de las costas y daños a la infraestructura. Conflictos aguas arriba-aguas abajo. Canteras a cielo abierto. Pérdida de paisajes naturales.
	Impactos o Cambios: Servicios de apoyo (biodiversidad, hábitats, ciclo de nutrientes). Servicios de aprovisionamiento (pesca). Servicios de regulación (calidad y turbidez del agua). Servicios culturales (playas, paisajes de médanos, pesca artesanal y deportiva). Prosperidad económica y bienestar humano.
	Respuesta: Sistema de Identificación Automática (SIA) en buques areneros. Precio de mercado de la arena. Fortalecimiento de las políticas y los instrumentos fiscales. Registros, licencias y cánones mineros. Fiscalización de minería ilegal (zonas no autorizadas). Propuestas de materiales alternativos como materias primas. Investigaciones científicas. Intercambio de información (autoridades y empresas) para el manejo de residuos mineros y el cierre de canteras. Marco legislativo de regulación y control. Propuestas de ONGs. Prohibición de sistemas de dragado como mecanismos de extracción en canteras. Implementación de sistemas de recupero, reutilización y reciclado de agua en canteras. Educación ambiental. Control ciudadano (denuncias, amparos, pedidos de informes).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Respuestas complementarias y/o de readecuación a las ya implementadas.

Elementos del DPSIR	Propuestas de acción	Prioridad			Dificultad		
		Alta	Media	Baja	Difícil	Media	Fácil
Respuestas sobre las fuerzas motrices	Mecanismos estatales que fomenten un comportamiento de producción y consumo responsable.	X				X	
	Políticas de fomento e incentivos al uso de materiales alternativos para la construcción y el fracking.	X				X	
	Establecer estándares de edificaciones sostenibles con menor uso/consumo de arena y energía.	X				X	
	Establecer acuerdos bilaterales para el uso de las arenas de dragado del río Uruguay.			X	X		
	Legislar el uso de las arenas del dragado del canal de navegación de los ríos Paraná y de la Plata.			X	X		
	Fomento a la eficiencia de producción, transporte y almacenaje.	X					X
	Descentralización de la conurbación y fomento de regiones con baja densidad poblacional.			X	X		
	Beneficios impositivos a la producción, compra de vehículos eléctricos y desarrollo de la matriz de recarga.	X				X	
	Ampliar/desarrollar la producción de energías alternativas.	X			X		
Mecanismos estatales que fomenten un comportamiento de producción y consumo responsable.	X			X			

Respuestas sobre las presiones	Tasa diferencial de explotación adecuada a los períodos de mayor y menor recarga natural.		X				X
	Control del volumen extraído por concesionario y seguimiento del precio de la arena en el mercado.	X					X
	Medidas de monitoreo de los sitios y áreas en explotación.	X					X
	Educar y sensibilizar sobre consumo excesivo energético (gas petróleo) y su relación con la arena.	X					X
	Educar y sensibilizar sobre los ecosistemas fluviales y el uso/almacenaje responsable de la arena	X					X
	Compromiso estatal de construcción de edificaciones sostenibles para todos los inmuebles.		X				X
	Establecer estándares de producción, transporte y almacenaje.		X		X		
	Crear un organismo interprovincial de gestión del recurso.		X			X	
	Modernización tecnológica para evitar desperdicios durante el almacenaje, transporte y embalaje.	X				X	
Respuestas sobre el estado ambiental	Fomentos la investigación y el desarrollo de materias primas sustitutas y edificios sustentables.		X			X	
	Congreso y Jornadas científicas para el desarrollo sostenible del Bajo Delta.	X				X	
	Estudios frecuentes del estado ambiental y la geomorfología fluvial.	X				X	
	Monitoreo de sedimentos basado en la recarga de arenas.	X					X
	Monitoreo de los ecosistemas y divulgación del estado ambiental.	X				X	
	Campañas de educación ambiental y difusión sobre los peligros de las canteras a cielo abierto.	X					X
Respuestas sobre los impactos	Evaluaciones de impacto ambiental con especial atención en la restauración de las canteras.	X					X
	Restaurar los servicios ecosistémicos afectados.		X		X		
	Crear un área protegida fluvial y desarrollar/ejecutar los planes de manejo de las ANP existentes.	X					X
	Seguimiento y ajuste de las medidas de mitigación, restauración y rehabilitación.			X			X

Fuente: elaboración propia.

13. Conclusiones

Tomando la arena del delta del Paraná como servicio ecosistémico de soporte vital para la formación y mantenimiento del humedal y de los demás servicios que este brinda, se logró una comprensión holística basada en las múltiples causas y efectos que alteran el estado ambiental y cómo éste actúa y repercute en el desarrollo natural (geomorfológico, ecológico) y social (urbano, económico, industrial) de la región.

Así se logró reconocer fuerzas y presiones que impactan y/o causan la degradación del tramo final del delta del Paraná, como así también, el rol insoslayable de las arenas del delta para el desarrollo de la región más poblada de Argentina, al destacar cómo la provisión de servicios ecosistémicos y de esta materia prima en particular, ha sido fundamental para el desarrollo y bienestar humano.

Se lograron diferenciar dos áreas sometidas a la extracción de arena. La primera corresponde al río Paraná de donde se extraen las arenas fluviales del delta, su particularidad es la de tener cierta recarga natural aportada por el propio sistema; sin embargo, según los datos analizados se logró estimar que la tasa de extracción de arena para el año 2004, un año con valores hídricos medios, representó aproximadamente un tercio de la reposición natural media, dato que se torna significativo si se considera que la demanda creció y que las arenas medias y gruesas son las más demandadas y justamente las que menor recarga tienen.

La segunda corresponde a los médanos de Ibicuy, un pequeño y excepcional ecosistema de dunas superficiales formado hace miles de años a través de un complejo proceso geológico. Esta área ha logrado conservarse en buen estado hasta el presente; sin embargo durante la última década, la técnica de fracking aplicada en la región de Vaca Muerta ha intensificado la demanda de este tipo de arena (silíceas) provocando notorios impactos en el paisaje.

Según estimaciones propias, en solo una década se desarrolló el modus operandi que explotó el 2% de la superficie de los médanos; en cambio, para las arenas fluviales la incertidumbre sobre el área afectada es mayor, no obstante, se reconoce que ha sido un ecosistema explotado durante varias décadas y que la flota de buques areneros ha crecido notoriamente debiéndose concesionar nuevos y más lejanos sitios de donde obtener la arena deseada. Escenario que podría significar sobreexplotación y degradación del ecosistema fluvial además de mayor costo productivo.

A la vez, se reconoce que los impactos no sólo son causados por la extracción de arena, sino también por el uso de este árido y lo que sucede en otras áreas de la cuenca, lo cual retorna en la construcción del corredor metropolitano y la provisión de energía. Esto propicia la fragmentación, pérdida y/o degradación de ecosistemas y sus servicios, un mayor consumo de energía, contaminación, barrera urbana y cambios hidrológicos.

En relación con el crecimiento del corredor metropolitano, se logró visualizar que la construcción reemplaza y aísla el humedal dificultando el intercambio ecológico del delta con la llanura aluvial. Siendo la demanda de nuevos sitios para construir una de las presiones emergentes que sufre el delta; dicho esto, se destaca la construcción urbana, portuaria e industrial del Bajío Ribereño, un humedal que funcionaba como un área de amortiguación y separación entre el delta, la barranca y los cascos urbanos.

Además se reconoció que:

Los servicios ecosistémicos fueron indispensables para el desarrollo y sostenimiento de la calidad de vida de la población isleña y continental, como así también para la economía Argentina.

El Bajo Delta tiene una posición estratégica y avanza hacia la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y esta hacia el delta donde se produce un acercamiento mutuo que estrecha las presiones.

La pampeanización del delta no sólo incumbe al agro, sino también se da una pampeanización urbana de las islas y Bajíos Ribereños con emprendimientos urbanos y nuevos habitantes proveniente de la ciudad que causan la artificialización o eliminación del humedal, los cuales pretenden mantener el modo de vida de los centros urbanos.

Existe una intensificación de las presiones y una aceleración en las transformaciones a lo largo de la cuenca, cambios en el uso del suelo que afectan la integridad del estado ambiental del tramo final del delta del Paraná.

La población local no tiene mayormente presente las presiones que ejerce la extracción/uso de la arena sobre el humedal; más aún, denota una falta de conocimiento y/o interés ambiental respecto a la importancia de este servicio ecosistémico.

Las actuales respuestas no son suficientes para una gestión sostenible de la arena, lo cual requiere la concientización de los impactos provocados en el delta.

Existe la necesidad de realizar estudios y monitoreo ecosistémicos; aplicar tecnologías limpias y diseños de arquitectura sostenible; promover la educación ambiental; implementar las Áreas Naturales Protegidas existentes e incorporar áreas fluviales protegidas; promover el almacenaje, transporte y el consumo eficiente de la arena durante todo su ciclo económico; incentivar el reciclado y el uso de materiales alternativos.

Agradecimientos

Alicia Iglesias, Augusto Favret, Bárbara Monteros, Fernando X. Pereyra, Fernando Rubini, Evelin Schaab, Imre Nagy, Natalia Ayelen Moleon Torres, Natalia Fracassi.

Referencias Bibliográficas

- Amsler, M. L., Drago E. C. & Paira A. R. (2007). Fluvial Sediments: Main Channel and Floodplain Interrelationships. En M. H. Iriondo, J. C. Paggi & M. J. Parma (Eds.), *The Middle Paraná River* (pp. 123-142). Springer.
- Bonfils, C. G. (1962). Los suelos del Delta del río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. *Revista de Investigaciones Agrícolas*, XVI (3), 257-370.
- Chiozza, E. y Carballo, C. (2006). *Introducción a la Geografía*. Editorial Universidad Nacional de Quilmes.
- Codignotto, J. O. & Medina, R. A. (2011). Evolución geomorfológica del delta del Paraná. En R. Quintana

et al. (Eds.), *El patrimonio natural y cultural del bajo delta insular. Bases para su conservación y uso sostenible* (pp. 66-75). Aprendelta.

- Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del río Bermejo y el río Grande de Tarija [COBINABE]. (2010). *Generación y transporte de sedimentos en la Cuenca Binacional del río Bermejo. Caracterización y análisis de los procesos intervinientes* (1a ed.). COBINABE
- Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata [CIC]. (2016). *Análisis Diagnóstico Transfronterizo de la Cuenca del Plata – ADT* (1ª ed.). https://cicplata.org/wp-content/uploads/2017/09/analisis_diagnostico_transfronterizo_de_la_cuenca_del_plata.pdf
- Comisión Mixta argentino–paraguaya del río Paraná [COMIP]. (20 de junio de 2020). *La importancia del río Paraná*. <https://www.comip.org.ar/rio/rioparana/>
- Gallo, M., Tripaldi A., López, R., Marcomini, S. & Orgeira, M. J. (2021). Facies sedimentarias del frente de progradación del delta del río Paraná, estuario del Río de la Plata, Sudamérica. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 28 (1), 61-90. <https://www.lajsba.sedimentologia.org.ar/index.php/lajsba/article/view/131/28-1-3>
- Iglesias, A. N. (2006). Premisas geográficas del desarrollo y ordenamiento ambiental. *Geograficando*, 2(2), 27-44. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.351/pr.351.pdf
- Kandus, P., Minotti, P., Morandeira, N. & Gayol, M. (2019). *Inventario de Humedales de la Región del Complejo Fluvio-litoral del Bajo Paraná*. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International. <https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/12/Inventario-de-Humedales-de-la-Regi%C3%B3n-del-Complejo-Fluvio-Litoral-digital.pdf>
- Malvárez, A. I. (1999). El Delta del río Paraná como mosaico de humedales. En A. I. Malvárez (Ed.), *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica* (pp. 35-53). Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe.
- Matteucci, S. D. (2010). El paisaje desde la ecología de paisajes. *Fronteras*, 9(9), 32-35. <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/fronteras/issue/view/38/37>
- Medina, R. A. (2016). La evolución del delta del Paraná. Cambios geomorfológicos recientes (1775-2015). *Ciencia Hoy*, 25(150), 23-28. <https://cienciahoy.org.ar/wp-content/uploads/Evolucion-del-delta-del-Parana.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (23 de diciembre de 2021). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Pittau, M., Sarubbi, A. y Menéndez, A. (9 al 13 de mayo 2005). Análisis del avance del frente y del incremento areal del Delta del río Paraná [Archivo PDF]. *XX Congreso Nacional del Agua*. Mendoza, Argentina. https://www.academia.edu/29396154/Análisis_del_avance_del_Frente_y_del_incremento_areal_del_Delta_del_Río_Paraná
- Prat, M. C. & Salomon, J. N. (1998). Milieux naturels et mise en valeur de l'espace dans le delta du Parana (Argentine)/Medios naturales y valorización del espacio en el delta del Paraná (Argentina). En M. C. Prat, J. N. Salomon, E. Gentile, & C. Natenzon (Eds), *Le Delta du Parana, aspects naturels-et anthropiques/El Delta del Paraná, aspectos naturales y antrópicos* (pp. 5–70). Bordeaux.
- Quintana, R. D. (2018). Humedales, biodiversidad y servicios eco sistémicos. ¿Hacia dónde vamos? En E. M. Abraham, R. D. Quintana & G. Mataloni (Comp.), *Aguas + Humedales: Serie Futuros* (pp.174-193). UNSAM EDITA
- Rinaldi, V., Abril, E. & Clariá, J. (2006). Aspectos geotécnicos fundamentales de las formaciones del Delta Del Río Paraná y del Estuario del Río De La Plata. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2), 131-148. https://www.scipedia.com/public/Rinaldi_Abril_2006a
- Rolny D. G., Couyoupetrou L., Ontivero E. P., Etcheverry R. & Forte L. M. (2016). Estudio de arenas de trituración para el reemplazo de arenas naturales en la elaboración de morteros y hormigones. *Revista ARQUITECNO*, 8, 37-43. <http://dx.doi.org/10.30972/arq.084263>
- Sarubbi, A., Pittau, M. G. & Menéndez, Á. N. (2004). *Delta del Paraná: balance de sedimentos* [Informe técnico]. Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua. <https://docplayer.es/18018813-Delta-del-parana-balance-de-sedimentos.html>
- Secretaría de Política Minera. (2019). *Panorama de Mercado de Rocas y Minerales Industriales. Arenas para Fracking* (Octubre de 2019). Ministerio de Producción.

- Silva Busso, A., Amato, S., Seoane, N. y Pittau, M. (2004). *Aportes al conocimiento de la geología del subsuelo del delta del río Paraná* [Informe LHA 03-235-04]. Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua. <https://docplayer.es/37163232-Aportes-al-conocimiento-de-la-geologia-del-subsuelo-del-delta-del-rio-parana.html>
- United Nations Environment Programme [UNEP]. Global Environment Alert Service (GEAS). (2014). *Sand, rarer than one thinks*. https://na.unep.net/geas/archive/pdfs/GEAS_Mar2014_Sand_Mining.pdf
- Violante, R. A., Cavallotto, J. L. & Kandus, P. (2008). Río de la plata y delta del Paraná. En CSIGA (Eds.), *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina* (Anales 46, II, pp. 461-475). Instituto de Geología y Recursos Minerales - Servicio Geológico Minero Argentino. <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/1347>
- Wetlands International. (2019). *Una mirada sobre los impactos de la Hidrovía en los humedales del Corredor Fluvial Paraguay-Paraná*. Fundación para la Conservación y Uso Sustentable de los Humedales/ Wetlands International. https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2019/11/Una-mirada-sobre-los-impctos-de-la-Hidrov%C3%ADa-en-los-humedales-del-Corredor-Fluvial-Paraguay-Paran%C3%A1-Digital.pdf