

**INIDEP**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO PESQUERO**INFORME DE
INVESTIGACIÓN**

Número

035

Páginas

17

Fecha de aprobación

29 / 04 / 2020

Dirección

DIRECCIÓN DE PESQUERIAS DEMERSALES

Programa / Gabinete

Pesquerías de Condrictios

Actividad

**PATRÓN MIGRATORIO DEL TIBURÓN GATOPARDO EN EL ATLÁNTICO
SUDOCIDENTAL, A PARTIR DE MODELOS DE PREFERENCIA AMBIENTAL**

Se modeló bimestralmente la preferencia ambiental del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* a gran escala espacial en el Atlántico Sudoccidental, con el objetivo de inferir sus movimientos migratorios. Se realizó una recopilación exhaustiva de datos de ocurrencia de *N. cepedianus* (campañas de investigación, museos, redes sociales, etc.) entre ~25°S (Brasil) y ~52°S (Argentina), tanto en aguas costeras como de plataforma. El ambiente se caracterizó a partir de variables con una relevancia ecológica para la especie, tanto físicas (e.g. temperatura superficial del mar, distancia a frentes térmicos, profundidad, distancia a la costa) como bióticas (e.g. distancia a colonias de pinnípedos). Los índices de preferencia ambiental se estimaron a partir del método de Máxima Entropía (MaxEnt) y fueron satisfactorios para describir la preferencia ambiental de *N. cepedianus*. Los modelos indicaron que el patrón migratorio de *N. cepedianus* estaría determinado por dos grandes movimientos entre aguas Patagónicas (~40°–47°S) y aguas del Río de la Plata (~33°–37°S), ambos en otoño-invierno. Este proceso parece estar gobernado por las variaciones térmicas del agua y el uso de ambientes costeros turbios y de forrajeo. La localización espacio-temporal de ocurrencias de neonatos en la región indicó que el área de parición más probable se encontraría a lo largo de la costa bonaerense y uruguaya. Estos resultados tienen implicancias directas en el manejo pesquero del recurso, así como también en la evaluación de su estado de conservación.

Citar Indicando la fuente. El contenido no debe ser reproducido total o parcialmente sin la expresa conformidad del INIDEP

Institución

Cargo

SOLICITADO POR**PREPARADO POR****PREPARADO POR****APROBADO POR**

Firma:

Nombre: DE WYSIECKI, AGUSTÍN

Firma:

Nombre: COLONELLO, JORGE

Jefe de Programa / Gabinete

Firma:

Nombre: SÁNCHEZ CARNERO,
NOELA

Firma:

Nombre: BOVCON, NELSON

Dra. ANALIA GIUSSI
A/C DIRECCIÓN DE
PESQUERÍA DE PECES
Director de área

Firma:

Nombre: IRIGOYEN, ALEJO

Firma:

Nombre: CORTES, FEDERICO

Dra. CLAUDIA RAQUEL CAROZZA
Directora Nacional de Investigación
Dirección Nacional de Investigación**INIDEP**

Firma:

Nombre: MILESSI, ANDRES
CONRADO

Firma:

Nombre: BARBINI, SANTIAGO A.

Director del INIDEP



Patrón migratorio del tiburón gatopardo en el Atlántico Sudoccidental a partir de modelos de preferencia ambiental

Agustín M. De Wysiecki¹; Noela Sánchez-Carnero¹; Alejo J. Irigoyen¹; Andrés C. Milessi²; Jorge H. Colonello³; Nelson D. Bovcon^{4,5}; Federico Cortés³; Santiago A. Barbini⁶; Paula V. Cedrola⁷; Nidia M. Coller⁸; Andrés J. Jaureguizar^{2,9,10}

1 Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Puerto Madryn, Argentina

2 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, Argentina

3 Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina

4 Instituto de Hidrobiología, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Trelew, Argentina

5 Secretaría de Pesca de la Provincia del Chubut, Rawson, Argentina

6 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Universidad Nacional de Mar del Plata, CONICET, Mar del Plata, Argentina

7 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en Argentina, Capital Federal, Argentina

8 Centro de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica en Recursos Marinos Almirante Storni, San Antonio Oeste, Argentina

9 Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina

10 Universidad Provincial del Sudoeste, Coronel Pringles, Argentina

INTRODUCCIÓN

El entendimiento de la ecología espacial de grandes tiburones migratorios es uno de los principales objetivos en el estudio de la ecología marina reciente, debido a que tiene importantes implicancias para su manejo sustentable y conservación. En la actualidad, los estudios sobre los patrones migratorios de estas especies se realizan utilizando tecnología de marcado electrónico. Sin embargo, esta tecnología es costosa y su uso permanece inaccesible en muchas regiones del mundo. En el Atlántico Sudoccidental (ASO), los estudios de seguimiento electrónico son escasos, con la excepción del marcado satelital de cinco cazones (Cuevas *et al.*, 2014) y 12 tiburones mako (Santos *et al.*, 2018). No obsten, se han utilizado otras metodologías para analizar los movimientos a gran escala o estacionales de grandes tiburones, incluyendo programas de marcado y recaptura (e.g. Irigoyen *et al.*, 2015; Jaureguizar *et al.*, 2018) y estudios basados en capturas (Lucifora *et al.*, 2005a, b).

En el ASO, existe una gran riqueza de tiburones y rayas (Menni *et al.*, 2010; Colonello *et al.*, 2014), con altos niveles de endemismo (Lucifora *et al.*, 2011; Stein *et al.*, 2018), y superposición con áreas de intensidad pesquera (e.g. Van der Molen *et al.*, 1998; Góngora *et al.*, 2009; Cortés & Waessle, 2017). Estas circunstancias hacen que muchas de estas especies estén bajo amenaza constante, demostrándose signos de declive poblacional de los grandes tiburones que ocurren en áreas costeras (Barbini *et al.*, 2015; Irigoyen & Trobbiani, 2016) y de plataforma (Barreto *et al.*, 2016; Bornatowski *et al.*, 2018). Afortunadamente, esfuerzos locales y regionales se han llevado a cabo durante los últimos 15 años para desarrollar medidas de manejo y conservación, las cuales están en concordancia con planes de acción nacionales (i.e. PAN-Tiburón Uruguay [Domingo *et al.*, 2008], PAN-Tiburón Argentina [CFP, 2009]) y regionales (PAR-Tiburón [CTMFM, 2018]). Las medidas de mitigación de esfuerzo pesquero están relacionadas a tamaños mínimos de desembarque, cuotas máximas permisibles y áreas cerradas al arrastre de fondo (ver medidas en PAN- y PAR-Tiburón). Sin embargo, la implementación de estas medidas se encuentra afectada por

la interacción de diferentes pesquerías (industrial, artesanal y recreacional), jurisdicciones y legislación.

El tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* (Péron, 1807) es un predador tope de gran tamaño en ecosistemas costeros templados del mundo (Last & Stevens, 2009). En el ASO, los conocimientos respecto de su comportamiento migratorio y preferencia ambiental son limitados. Su amplio rango de distribución (Compagno, 2009) y marcada estacionalidad en áreas costeras de Argentina (Jaureguizar *et al.*, 2004, 2015; Lucifora *et al.*, 2005a; Cedrola *et al.*, 2009; Irigoyen *et al.*, 2015, 2018, 2019; De Wysiecki *et al.*, 2018) y Uruguay (Silveira *et al.*, 2018) sugieren que la especie desarrolla movimientos a gran escala en el ASO.

A fin de determinar el patrón migratorio del tiburón gatopardo *N. cepedianus*, se desarrollaron modelos de distribución de especies de sólo-presencia que están siendo cada vez más utilizados en ecología marina de la conservación para entender el rol de variables ambientales en los patrones de distribución de las especies (e.g. Lucifora *et al.*, 2015). Se exploró la preferencia ambiental bimestral para inferir el patrón migratorio de *N. cepedianus* en el ASO, basado en una recolección exhaustiva de registros de capturas, asumiendo que sus movimientos están influenciados por variables físicas y bióticas que son ecológica y biológicamente relevantes (Objetivo 1). Además, se investigaron posibles diferencias en los movimientos migratorios entre juveniles y adultos (Objetivo 2) y se identificaron las áreas de distribución más críticas de neonatos en la región (Objetivo 3).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se definió el área de estudio como aquella correspondiente al ASO, entre el sur de Brasil (~25°00'S) y el sur de Argentina (~52°00'S), y hasta la isobata de 200 m (límite natural de la especie). Se recolectaron datos de ocurrencia de *N. cepedianus* de todas las fuentes de información disponibles (Tabla 1), donde se disponía de posición geográfica (o localidad), mes y año. Información adicional como largo total, sexo y arte de pesca también fueron registrados. Se consideró que los machos mayores a 170 cm y las hembras mayores a 190 cm correspondieron a ejemplares adultos, de acuerdo al análisis endócrino disponible (Irigoyen *et al.*, 2018). Individuos menores a 50 cm o con presencia de marca umbilical fresca fueron considerados neonatos.

Las búsquedas en redes sociales se hicieron con los términos 'tiburón gatopardo' (Argentina), 'tiburón pintaroja' (Uruguay), 'cação-bruxa' y 'tintureira' (Brasil), y se contactó a los pescadores para averiguar más información en los casos que fuera necesario. La longitud de los ejemplares fue estimada a partir de objetos reconocibles (e.g. cuchillo, brazo) en las fotos, y el sexo y condición de neonato registrado cuando fue posible.

Datos de campañas científicas y programas de observadores a bordo fueron obtenidos únicamente los espacios marítimos argentinos y Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya. Estos datos fueron provistos por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), la Secretaría de Pesca de Chubut, y el Centro de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica en Recursos Marinos Almirante Storni (CIMAS). La exploración inicial de los datos de presencia y ausencia de *N. cepedianus* demostró que no es representativa de la extensión espacial y temporal del estudio, lo cual justifica el uso de modelos de distribución de especies de sólo presencia. Los datos de observadores fueron validados por personal profesional de las instituciones para descartar falsos positivos.

Un conjunto de ocho variables ambientales fue seleccionado para describir el ambiente (Tabla 2). Las variables estáticas (sin cambio temporal) fueron distancia a la costa, profundidad, pendiente, distancia a caletas marinas y distancia a colonias reproductivas de pinnípedos. Las variables dinámicas (con cambio temporal) fueron la temperatura superficial del mar, distancia a frente térmico y coeficiente de atenuación difusa K490. Las variables de distancias fueron construidas en base a la posición de la línea de costa, caletas marinas, colonias de pinnípedos y frentes térmicos como la

distancia mínima euclídea a cada una de esas posiciones. Todas las variables fueron finalmente rasterizadas y promediadas bimestralmente para el modelado.

Para el modelado se utilizó el algoritmo basado en Máxima Entropía (MaxEnt, Phillips *et al.*, 2006, 2017). Este algoritmo permite estimar la preferencia ambiental de la especie al comparar las características del ambiente en donde hubo presencias con el resto del área de estudio (Elith *et al.*, 2011; Merow *et al.*, 2013). Seis modelos MaxEnt bimestrales fueron desarrollados para inferir el patrón migratorio de *N. cepedianus* en el ASO (Objetivo 1). Estos modelos no pudieron ser desarrollados por longitud, dado el bajo número de muestras (< 10 por bimestre), por lo que la información de longitud sólo se utilizó para interpretar mejor los modelos (Objetivo 2). Los registros de neonatos fueron excluidos del modelo, considerándose que tienen una limitada capacidad migratoria, pero sí fueron utilizados para determinar la ocurrencia espacial y temporal en la región (Objetivo 3).

Se incorporaron al modelo sólo los registros provenientes de plataforma (i.e. campañas de investigación y observadores a bordo), para reducir el sesgo observacional, y se utilizaron los registros costeros para validar las predicciones. Para reducir la auto correlación espacial, se eliminaron los registros duplicados y se aplicó un afinado espacial (10 km) que redujo el agrupamiento de datos mediante el paquete de R 'spThin' (Fourcade *et al.*, 2014; Aiello-Lammens *et al.*, 2015).

Dado que los parámetros por defecto de MaxEnt no siempre llevan a la mejor performance del modelo (Radosavljevic & Anderson, 2014; Shcheglovitova & Anderson, 2013), para cada uno de los seis escenarios se compararon modelos candidatos de diferente complejidad a través del protocolo de calibración y evaluación automático del paquete de R 'kuenm' (Cobos *et al.*, 2019). En cada caso, se separó aleatoriamente 75% y 25% de las ocurrencias para la generación y evaluación del modelo, respectivamente. Entre los modelos más significativos (Área Bajo la Curva, AUC) y de mejor performance (menor tasa de omisión) se seleccionaron los de mejor bondad de ajuste y menor complejidad en base al Criterio de Información de Akaike corregido para bajos números muestrales (AICc, Warren & Seifert, 2011). Los modelos fueron luego validados con los datos costeros, como una fuente de datos independiente. Se elaboraron curvas de respuesta en cada modelo, las cuales muestran cómo las variables afectan la predicción. Finalmente, dadas las limitaciones que surgen al predecir en áreas donde datos no fueron recolectados (Warren & Seifert, 2011), se calculó el índice de paridad orientada a la movilidad (MOP, Owens *et al.*, 2013), para identificar áreas de extrapolación significativa.

RESULTADOS

Un total de 2.040 ocurrencias de *N. cepedianus* fueron recopiladas en este estudio, de las cuales 1.741 correspondieron a registros costeros y 299 a registros de plataforma. El registro más al norte correspondió a una hembra de 800 mm de longitud total capturada el 09 de junio de 2016 en Perúíbe (24°24'S–46°51'W, São Paulo, Brasil), y representó una extensión de 115 km hacia el norte de la distribución conocida de *N. cepedianus* en el ASO.

Los seis modelos finales tuvieron una buena performance ($AUC > 0,75$) y fueron validados satisfactoriamente con el conjunto de datos independientes (tasa de omisión $< 0,06$, Tabla 3). Las áreas preferenciales (índice > 0.5) generalmente ocurrieron en aguas adyacentes a la costa, con diferencias estacionales en su localización a lo largo del ASO (Figura 1A). El agrupamiento de áreas preferenciales al norte y al sur fue especialmente evidente en los periodos febrero-marzo y junio-julio. Las áreas específicas con registros históricos durante todo el año incluyeron el límite sur del área estuarial del Río de la Plata (~36°–38°S), el golfo San Matías y la península Valdés (~41°–43°S), y el norte del golfo San Jorge (~45°–46°S) (Figura 1B). Extensas áreas correspondientes al sur de Brasil y Argentina mostraron extrapolación estricta, lo que indicó que el ambiente en estas áreas no estuvo representado en los datos recolectados (Figura 2).

La segregación espacial entre juveniles y adultos fue baja (Figura 1B). Los juveniles alcanzaron menores latitudes que los adultos y se registraron agregaciones de adultos entre los meses de junio y septiembre. Los neonatos ocurrieron sólo desde septiembre a mayo en aguas costeras de Uruguay y el norte de Argentina (33°–41°S, Figura 3).

La distancia a la costa fue la variable que más contribuyó a los modelos, mientras que distancia a frentes térmicos, distancia a colonias de pinnípedos, profundidad y coeficiente de atenuación K490 fueron importantes sólo estacionalmente (Tabla 3). La temperatura superficial del mar, distancia a caletas marinas y pendiente contribuyeron en menor medida a los modelos. Las áreas preferenciales estuvieron generalmente asociadas a distancias cercanas a la costa, frentes térmicos y colonias de pinnípedos, y también a aguas turbias y de menor profundidad (Figura 4).

DISCUSIÓN

Los modelos bimestrales de preferencia ambiental desarrollados en este estudio proveen una alternativa para explorar preguntas de ecología espacial de grandes tiburones en regiones donde la tecnología de seguimiento electrónico permanece incosteable. El uso de fuentes de datos basadas en actividades de los ciudadanos (e.g. pesca recreacional), brindan la oportunidad de abordar análisis caracterizados por una magnitud espacial y temporal que usualmente no es replicable por ningún programa científico. Por ejemplo, permite incorporar registros que cubren la totalidad del rango de distribución de una especie en una región en particular. El método, si bien fue aplicado en este estudio a una especie de tiburón de gran tamaño, tiene la potencialidad de ser aplicado para el estudio de la migración de otros animales marinos. A pesar de las limitaciones, la inferencia mediante este método constituye una herramienta valiosa a la hora de informar planes de manejo en regiones carentes de datos, dando respuesta en situaciones de necesidad de medidas de conservación.

La caracterización del hábitat preferencial de *N. cepedianus* en el ASO y sus posibles variaciones estacionales, sugiere que algunos individuos realizan movimientos latitudinales extensos. En primer lugar, los modelos indicaron que sólo parte de Patagonia norte (~40°–45°S) representa un hábitat preferencial de *N. cepedianus* durante todo el año, mientras que en el resto del ASO (~25°–40°S y ~45°–53°S) la preferencia sería de carácter estacional. Este patrón concuerda con dos estudios recientes en el norte (Irigoyen *et al.*, 2018) y centro (Irigoyen *et al.*, 2019) de la Patagonia. Sobre la base del patrón estacional y el agrupamiento observado en el área estuarial del Río de la Plata, se infiere que existe un desplazamiento hacia el norte de individuos que se mueven desde aguas costeras Patagónicas (~40°–47°S) a aguas del Río de la Plata (~33°–37°S) durante los meses fríos (junio-julio) y el posterior retorno a través de aguas costeras hacia latitudes extremas entre febrero y marzo. Este proceso dinámico está gobernado por fluctuaciones estacionales en la localización de gradientes térmicos del agua y el uso de aguas costeras turbias durante junio-julio. Durante los meses cálidos, los tiburones alcanzan latitudes extremas hacia aguas costeras sureñas posiblemente influenciados por el uso de colonias de pinnípedos como áreas de forrajeo estacionales.

El agrupamiento distintivo observado en el área estuarial del Río de la Plata y costa uruguaya durante el periodo junio-julio sea probablemente un resultado de un evento migratorio hacia el norte de parte de la población. Este evento podría estar asociado a hembras preñadas que seleccionan hábitats costeros críticos para maximizar la supervivencia y desarrollo de los individuos jóvenes, entre ellos ambientes turbios (e.g. Chin *et al.*, 2013), de temperaturas más cálidas (e.g. Hight & Lowe, 2007; Elisio *et al.*, 2017) y altamente productivos (Heupel *et al.*, 2007). Los individuos neonatos encontrados en esta área a partir de septiembre, refuerza la hipótesis mencionada anteriormente. Algunos neonatos (< 50 cm) también fueron encontrados hasta el mes de mayo en otras áreas del norte de Argentina (~35°–41°S), lo que sugiere que la parición no sucede en un mismo lugar y momento, sino que

sucede en una región amplia y durante varios meses. La presencia de juveniles y adultos durante la parición puede ser explicado por el hecho de que el área constituye un hábitat crítico para los individuos jóvenes, como fue recientemente discutido para el límite sur del área estuarial del Río de la Plata (Milessi *et al.*, 2019). El agrupamiento observado en febrero-marzo, si bien no fue tan claro, estuvo únicamente representado por juveniles que podrían permanecer en el área antes de su primera migración. Dada la continuidad espacial de los registros de *N. cepedianus*, se hipotetiza que la especie constituye una única población en la región del ASO.

El patrón migratorio inferido en el presente estudio es consistente con el comportamiento migratorio y fidelidad al sitio de *N. cepedianus* en aguas templadas del sudeste de Australia (Barnett *et al.*, 2011; Stehfest *et al.*, 2014). En esa región, los machos realizan migraciones hacia el norte durante otoño-invierno en búsqueda de áreas de forrajeo, mientras que algunas hembras permanecen en áreas costeras al sur y otras se moverían hacia áreas de cría (Barnett *et al.*, 2011). En otros ecosistemas templados del mundo, también se ha reportado que *N. cepedianus* realiza migraciones de larga distancia y regresa al mismo lugar en años consecutivos (Williams *et al.*, 2012; Ketchum *et al.*, 2017), y que su ocurrencia es muy variable estacionalmente y sesgada por sexos (Ebert, 1989; Housiaux *et al.*, 2019). Estos patrones migratorios también han sido sustentados por reportes pasados (Ebert, 1989, 1996) y evidencia más reciente de un ciclo bianual de la especie (Awruch *et al.*, 2014; Irigoyen *et al.*, 2018).

Los gradientes de temperatura y turbidez del agua influyeron en los movimientos horizontales a gran escala espacial de *N. cepedianus*. Las fluctuaciones de temperatura tienen efectos directos (a través de estrés fisiológico) e indirectos (a través de disponibilidad de presas) en la distribución y movimiento de tiburones costeros (Speed *et al.*, 2010; Schlaff *et al.*, 2014). En aguas de Tasmania, la temperatura ocasionó un efecto indirecto en la ocurrencia de *N. cepedianus*, al afectar directamente la distribución de su presa principal (Barnett *et al.*, 2010). También se ha determinado que áreas frontales constituyen zonas claves de forrajeo para vertebrados marinos, incluidos tiburones de gran tamaño, debido a una mayor productividad primaria (Scales *et al.*, 2014). Los ambientes turbios representan áreas críticas para tiburones jóvenes que se benefician de un menor riesgo de depredación, mayor abundancia de presas y estrategias de caza facilitadas (Chin *et al.*, 2013; Yates *et al.*, 2015). En el presente estudio, la localización y momento de la parición podría significar una estrategia para incrementar la supervivencia de los neonatos e individuos jóvenes al disponer de los servicios provistos por los ambientes turbios en áreas costeras del norte de Argentina y Uruguay.

Los resultados de este estudio también sugieren que los procesos intrínsecos de las poblaciones de presas podrían influenciar el movimiento de *N. cepedianus*. Por ejemplo, estudios recientes en bahías patagónicas indican que el pico de abundancia de *N. cepedianus* coincide con una mayor abundancia de crías de foca elefante (*Mirounga leonina*, Irigoyen *et al.*, 2018) y de crías de lobo marino de un pelo (*Otaria flavescens*, Irigoyen *et al.*, 2019), ambas presas importantes para la especie. La distancia a colonias reproductivas de pinnípedos fue importante durante los meses cálidos, lo que sugiere una conexión entre la época reproductiva de pinnípedos y la llegada de tiburones con propósitos de forrajeo. Otras presas importantes podrían influenciar los movimientos de este tiburón, como por ejemplo la fransiscana *Pontoporia blainvillei* (Brownell, 1975), la pescadilla *Cynoscion guatucupa*, el gatuzo *Mustelus schmitti*, el chucho *Myliobatis* spp. (Chiaramonte & Petovello, 2000; Lucifora *et al.*, 2005a), la saraca *Brevoortia aurea* (A.C. Milessi, com. per.), el róbalo *Eleginops maclovinus* y el pez gallo *Callorhynchus callorhynchus* (N. Bovcon, com. per.). Dadas las variaciones ontogenéticas en la dieta de *N. cepedianus* (Ebert, 2002; Lucifora *et al.*, 2005a; Braccini, 2008; Abrantes & Barnett, 2011), modelos futuros diferenciados por tallas también se beneficiarían de un mayor número de predictores bióticos que describan la distribución de diferentes presas.



En años recientes, la conservación y manejo de condriktios ha tenido mayor desarrollo en el ASO. La mayoría de los esfuerzos nacionales se enmarcan en planes de acción nacionales [i.e. PAN-Tiburón Uruguay (Domingo *et al.*, 2008) y PAN-Tiburón Argentina (CFP, 2009)] que intentan garantizar la conservación y manejo sustentable de tiburones, rayas y quimeras a lo largo del territorio nacional. Actualmente, estos planes comprenden legislación de autoridades estatales para cerrar ciertas áreas a la pesca, y para la implementación de límites de captura y buenas prácticas de pesca (e.g. devolución obligatoria de individuos mayores a 160 cm de largo total, prohibición de aleteo). Sin embargo, el éxito de estos enfoques depende de comprender la escala espacial y temporal de los movimientos y estructura demográfica de las especies. Esto último reviste un gran desafío para especies de tiburones predadores de gran tamaño. Sobre la base de los resultados obtenidos en este estudio, es posible concluir que las áreas de veda al arrastre de fondo establecidas en los espacios costeros (menos de 50 m de profundidad) bonaerenses (área de veda de “Condriktios” y “El Rincón”), representan una gran parte de la distribución espacio temporal de *N. cepedianus*. Sin embargo, es necesario coordinar los esfuerzos con diferentes jurisdicciones nacionales e internacionales. Por ejemplo, Buenos Aires es la única provincia en Argentina en tener legislación de pesca que prohíbe la pesca con sacrificio grandes tiburones en pesquerías deportivas, lo cual cubre una sección limitada de los hábitats costeros en los cuales la mayoría de los tiburones tope se distribuyen. Por su parte, la legislación en los demás territorios costeros es escasa, y los tiburones son sólo protegidos en reservas marinas relativamente pequeñas (ver revisión en Venerus & Cedrola, 2017). Los Planes de Acción Nacional y Regional representan un excelente marco para coordinar los esfuerzos dirigidos a la conservación de estas especies, como así también promover el desarrollo de estudios de preferencia ambiental y uso de hábitat.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRANTES, K.G. & BARNETT, A. 2011. Intrapopulation variations in diet and habitat use in a marine apex predator, the broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 442: 133–148.
- AIELLO-LAMMENS, M.E., BORJA, R.A., RADOSAVLJEVIC, A., VILELA, B. & ANDERSON, R.P. 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. Ecograp. 38: 541–545.
- AWRUCH, C.A., JONES, S.M., ASOREY, M.G. & BARNETT, A. 2014. Non-lethal assessment of the reproductive status of broadnose sevengill sharks (*Notorynchus cepedianus*) to determine the significance of habitat use in coastal areas. Conserv. Physiol. 2: cou013.
- BARBINI, S.A., LUCIFORA, L.O. & FIGUEROA, D.E. 2015. Using opportunistic records from a recreational fishing magazine to assess population trends of sharks. Cana. J. Fish. Aquat. Sci. 72: 1853–1859.
- BARNETT, A., STEVENS, J.D., FRUSHER, S.D. & SEMMENS, J.M. 2010. Seasonal occurrence and population structure of the broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus* in coastal habitats of south-east Tasmania. J. Fish Biol. 77: 1688–1701.
- BARNETT, A., ABRANTES, K.G., STEVENS, J.D. & SEMMENS, J.M. 2011. Site fidelity and sex-specific migration in a mobile apex predator: implications for conservation and ecosystem dynamics. Anim. Behav. 81: 1039–1048.
- BARNETT, A., BRACCINI, J.M., AWRUCH, C.A. & EBERT, D.A. 2012. An overview on the role of Hexanchiformes in marine ecosystems: biology, ecology and conservation status of a primitive order of modern sharks. J. Fish Biol. 80: 966–990.
- BARRETO, R., FERRETTI, F., FLEMMING, J.M., AMORIM, A., ANDRADE, H., WORM, B. & LESSA, R. 2016. Trends in the exploitation of South Atlantic shark populations. Conserv. Biol. 30: 792–804.
- BORNATOWSKI, H., ANGELINI, R., COLL, M., BARRETO, R.R. & AMORIM, A.F. 2018. Ecological role and historical trends of large pelagic predators in a subtropical marine ecosystem of the South Atlantic. Rev. Fish Biol. Fish. 28: 241–259.
- BRACCINI, J.M. 2008. Feeding ecology of two high-order predators from south-eastern Australia: the coastal broadnose and the deepwater sharpnose sevengill sharks. Mar. Ecol. Prog. Ser. 371: 273–284.
- BROWNELL JR, R.L. 1975. Progress report on the biology of the franciscana dolphin, *Pontoporia blainvillei*, in uruguayan waters. J. Fish. Board Can. 32: 1073–1078.
- CEDROLA, P.V., CAILLE, G.M., CHIARAMONTE, G.E. & PETTOVELLO, A.D. 2009. Demographic structure of broadnose seven-gill shark, *Notorynchus cepedianus*, caught by anglers in southern Patagonia, Argentina. Mar. Biodivers. Records 2: e138.
- CHAPMAN, D.D., FELDHEIM, K.A., PAPASTAMATIOU, Y.P. & HUETER, R.E. 2015. There and back again: a review of residency and return migrations in sharks, with implications for population structure and management. Ann. Rev. Mar. Sci. 7: 547–570.
- CHIARAMONTE, G.E. & PETTOVELLO, A.D. 2000. The biology of *Mustelus schmitti* in southern Patagonia, Argentina. J. Fish Biol. 57: 930–942.
- CHIN, A., TOBIN, A.J., HEUPEL, M.R. & SIMPFENDORFER, C.A. 2013. Population structure and residency patterns of the blacktip reef shark *Carcharhinus melanopterus* in turbid coastal environments. J. Fish Biol. 82: 1192–1210.
- COBOS, M.E., PETERSON, A.T., BARVE, N. & OSORIO-OLVERA, L. 2019. kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. PeerJ 7: e6281.

- COLONELLO, J.H., CORTÉS, F. & MASSA, A.M. 2014. Species richness and reproductive modes of chondrichthyans in relation to temperature and fishing effort in the Southwestern Atlantic Shelf (34–54° S). *Fish. Res.* 160: 8–17.
- COMPAGNO, L.J.V. 2009. *Notorynchus cepedianus*. In IUCN Red List of Threatened Species: e.T39324A10200310 (accessed 9 Dec 2019).
- CONSEJO FEDERAL PESQUERO (CFP). 2009. Plan de Acción Nacional para la Conservación y el Manejo de Condrictios (tiburones, rayas y quimeras) en la República Argentina. CFP Resolution No. 06/2009.
- CORTÉS, F. & WAESSLE, J.A. 2017. Hotspots for porbeagle shark (*Lamna nasus*) bycatch in the southwestern Atlantic (51° S–57° S). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 74: 1100–1110.
- COMISIÓN TÉCNICA MIXTA DEL FRENTE MARÍTIMO (CTMFM). 2018. Plan de Acción Regional para la conservación y pesca sustentable de los condrictios del área del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo. CTMFM, Public. Ocas. 144 pp.
- CUEVAS, J.M., GARCÍA, M. & DI GIACOMO, E. 2014. Diving behaviour of the critically endangered tope shark *Galeorhinus galeus* in the Natural Reserve of Bahía San Blas, northern Patagonia. *Anim. Biotelem.* 2: 11.
- DE WYSIECKI, A.M., MILESSI, A.C., WIFF, R. & JAUREGUIZAR, A.J. 2018. Highest catch of the vulnerable broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus* in the south-west Atlantic. *J. Fish Biol.* 92: 543–548.
- DOMINGO, A., FORSELLEDO, R., MILLER, P. & PASSADORE, C. 2008. Plan de Acción Nacional para la conservación de condrictios en las pesquerías uruguayas. Montevideo, DINARA, 88 pp.
- EBERT, D.A. 1989. Life history of the sevengill shark, *Notorynchus cepedianus* Peron, in two northern California bays. *Calif. Fish Game* 75: 102–112.
- EBERT, D.A. 1996. Biology of the sevengill shark *Notorynchus cepedianus* (Peron, 1807) in the temperate coastal waters of southern Africa. *SA J. Mar. Sci.* 17: 93–103.
- EBERT, D.A. 2002. Ontogenetic changes in the diet of the sevengill shark (*Notorynchus cepedianus*). *Mar. Fresh. Res.* 53: 517–523.
- ELITH, J., PHILLIPS, S.J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y.E. & YATES, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.* 17: 43–57.
- ELISIO, M., COLONELLO, J.H., CORTÉS, F., JAUREGUIZAR, A.J., SOMOZA, G.M. & MACCHI, G.J. 2017. Aggregations and reproductive events of the narrownose smooth-hound shark (*Mustelus schmitti*) in relation to temperature and depth in coastal waters of the south-western Atlantic Ocean (38–42° S). *Mar. Fresh. Res.* 68: 732–742.
- FOURCADE, Y., ENGLER, J.O., RÖDDER, D. & SECONDI, J. 2014. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PLoS ONE*, 9: e97122.
- GÓNGORA, M.E., BOVCON, N.D. & COCHIA, P.D. 2009. Ictiofauna capturada incidentalmente en la pesquería de langostino patagónico *Pleoticus muelleri* Bate, 1888. *Revista Biol. Mar. Oceanogr.* 44: 583–593.
- HIGHT, B.V. & LOWE, C.G. 2007. Elevated body temperatures of adult female leopard sharks, *Triakis semifasciata*, while aggregating in shallow nearshore embayments: evidence for behavioral thermoregulation? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 352: 114–128.
- HEUPEL, M.R., CARLSON, J.K. & SIMPFENDORFER, C.A. 2007. Shark nursery areas: concepts, definition, characterization and assumptions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 337: 287–297.
- HEUPEL, M.R., SIMPFENDORFER, C.A., ESPINOZA, M., SMOOTHY, A.F., TOBIN, A. & PEDDEMORS, V. 2015. Conservation challenges of sharks with continental scale migrations. *Frontiers Mar. Sci.* 2: 12.

- HOUSIAUX, J.A., HEPBURN, C.D. & RAYMENT, W.J. 2019. Seasonal variation in occurrence of the sevengill shark, *Notorynchus cepedianus*, in two inshore habitats of southern New Zealand. *NZ J. Zool.* 46: 48–60.
- IRIGOYEN, A. & TROBBIANI, G. 2016. Depletion of trophy large-sized sharks populations of the Argentinean coast, south-western Atlantic: insights from fishers' knowledge. *Neotropical Ichthyol.* 14: e150081.
- IRIGOYEN, A., SIBBALD, C., CUESTAS, M., CRISTIANI, F. & TROBBIANI, G. 2015. Patrones estacionales de abundancia en el Golfo Nuevo y migración a lo largo de la plataforma Argentina de cazones (*Galeorhinus galeus* [Linnaeus 1758]) y gatopardos (*Notorynchus cepedianus* [Péron 1807]) (Argentina). *Ecol. Austral* 25: 144–148.
- IRIGOYEN, A.J., DE WYSIECKI, A.M., TROBBIANI, G., BOVCON, N., AWRUCH, C.A., ARGEMI, F. & JAUREGUIZAR, A.J. 2018. Habitat use, seasonality and demography of an apex predator: sevengill shark *Notorynchus cepedianus* in Northern Patagonia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 603: 147–160.
- IRIGOYEN, A.J., BOVCON, N., TROBBIANI, G., DE WYSIECKI, A.M., ARGEMI, F. & JAUREGUIZAR, A.J. 2019. Habitat use, seasonality and demography of the broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus* in central Patagonia: Another piece of the puzzle. *Austral Ecol.* 44: 1463–1470.
- JAUREGUIZAR, A.J., MENNI, R., GUERRERO, R. & LASTA, C. 2004. Environmental factors structuring fish communities of the Río de la Plata estuary. *Fish. Res.* 66: 195–211.
- JAUREGUIZAR, A.J., CORTÉS, F., MILESSI, A.C., COZZOLINO, E. & ALLEGA, L. 2015. A trans-ecosystem fishery: environmental effects on the small-scale gillnet fishery along the Río de la Plata boundary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 166: 92–104.
- JAUREGUIZAR, A.J., ARGEMI, F., TROBBIANI, G., PALMA, E.D. & IRIGOYEN, A.J. 2018. Large-scale migration of a school shark, *Galeorhinus galeus*, in the Southwestern Atlantic. *Neotropical Ichthyol.* 16: e170050.
- KETCHUM, J.T., SLAGER, C.J., BUCKHORN, M.L., NOSAL, A.P. & KLIMLEY, A.P. 2017. Residency and long-distance movements of sevengill sharks (*Notorhynchus cepedianus*) tagged in San Francisco Bay. *Anim. Biotelem.* 5: 26.
- LAST, P.R. & STEVENS, J.D. 2009. *Sharks and Rays of Australia* (2nd ed.). Collingwood, Australia: CSIRO Publishing.
- LUCIFORA, L.O., MENNI, R.C. & ESCALANTE, A.H. 2005a. Reproduction, abundance and feeding habits of the broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus* in north Patagonia, Argentina. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 289: 237–244.
- LUCIFORA, L.O., MENNI, R.C. & ESCALANTE, A.H. 2005b. Reproduction and seasonal occurrence of the copper shark, *Carcharhinus brachyurus*, from north Patagonia, Argentina. *ICES J. Mar. Sci.* 62: 107–115.
- LUCIFORA, L.O., GARCÍA, V.B. & WORM, B. 2011. Global diversity hotspots and conservation priorities for sharks. *PLoS ONE* 6: e19356.
- LUCIFORA, L.O., BARBINI, S.A., DI GIÁCOMO, E.E., WAESSLE, J.A. & FIGUEROA, D.E. 2015. Estimating the geographic range of a threatened shark in a data-poor region: *Cetorhinus maximus* in the South Atlantic Ocean. *Current Zool.* 61: 811–826.
- MENNI, R.C., JAUREGUIZAR, A.J., STEHMANN, M.F. & LUCIFORA, L.O. 2010. Marine biodiversity at the community level: zoogeography of sharks, skates, rays and chimaeras in the southwestern Atlantic. *Biodiver. Conserv.* 19: 775–796.
- MEROW, C., SMITH, M.J. & SILANDER JR, J.A. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecograp.* 36: 1058–1069.
- MILESSI, A.C., DE WYSIECKI, A.M. & JAUREGUIZAR, A.J. 2019. Trophic ecology of young-of-the-year elasmobranchs in a critical habitat within the Río de la Plata outer estuarine waters. *Austral Ecol.* 44: 290–299.

- OWENS, H.L., CAMPBELL, L.P., DORNAK, L.L., SAUPE, E.E., BARVE, N., SOBERÓN, J., ... PETERSON, A.T. 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecol. Model.* 263: 10–18.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231–259.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P., DUDÍK, M., SCHAPIRE, R.E. & BLAIR, M.E. 2017. Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecograp.* 40: 887–893.
- RADOSAVLJEVIC, A. & ANDERSON, R.P. 2014. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *J. Biogeogr.* 41: 629–643.
- SANTOS, C.C., DOMINGO, A., CARLSON, J., NATANSON, L.J., CORTÉS, E., MILLER, P., ... COELHO, R. 2018. Habitat use and migrations of shortfin mako in the atlantic using satellite telemetry. *Collective Volume of Scientific Papers – Inter. Comm. Conserv. Atla. Tunas* 75: 445–456.
- SCALES, K.L., MILLER, P.I., HAWKES, L.A., INGRAM, S.N., SIMS, D.W. & VOTIER, S.C. 2014. On the Front Line: frontal zones as priority at-sea conservation areas for mobile marine vertebrates. *J. Appl. Ecol.* 51: 1575–1583.
- SCHLAFF, A.M., HEUPEL, M.R. & SIMPFENDORFER, C.A. 2014. Influence of environmental factors on shark and ray movement, behaviour and habitat use: a review. *Rev. Fish Biol. Fish.* 24: 1089–1103.
- SHCHEGLOVITOVA, M. & ANDERSON, R.P. 2013. Estimating optimal complexity for ecological niche models: a jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecol. Model.* 269: 9–17.
- SILVEIRA, S., LAPORTA, M., PEREYRA, I., MAS, F., DOÑO, F., SANTANA, O. & FABIANO, G. 2018. Análisis de la captura de condriktios en la pesca artesanal oceánica de Uruguay, Atlántico Sudoccidental. *Frente Mar.* 25: 301–324.
- SPEED, C.W., FIELD, I.C., MEEKAN, M.G. & BRADSHAW, C.J. 2010. Complexities of coastal shark movements and their implications for management. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 408: 275–293.
- STEHFEST, K.M., PATTERSON, T.A., BARNETT, A. & SEMMENS, J.M. 2014. Intraspecific differences in movement, dive behavior and vertical habitat preferences of a key marine apex predator. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 495: 249–262.
- STEIN, R.W., MULL, C.G., KUHN, T.S., ASCHLIMAN, N.C., DAVIDSON, L.N., JOY, J.B., ... MOOERS, A.O. 2018. Global priorities for conserving the evolutionary history of sharks, rays and chimaeras. *Nat. Ecol. Evol.* 2: 288.
- VAN DER MOLEN, S., CAILLE, G. & GONZÁLEZ, R. 1998. By-catch of sharks in Patagonian coastal trawl fisheries. *Mar. Fresh. Res.* 49: 641–644.
- VENERUS, L.A. & CEDROLA, P.V. 2017. Review of marine recreational fisheries regulations in Argentina. *Mar. Policy* 81: 202–210.
- WARREN, D.L. & SEIFERT, S.N. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol. Appl.* 21: 335–342.
- WILLIAMS, G.D., ANDREWS, K.S., KATZ, S.L., MOSER, M.L., TOLIMIERI, N., FARRER, D.A. & LEVIN, P.S. 2012. Scale and pattern of broadnose sevengill shark *Notorynchus cepedianus* movement in estuarine embayments. *J. Fish Biol.* 80: 1380–1400.
- YATES, P.M., HEUPEL, M.R., TOBIN, A.J. & SIMPFENDORFER, C.A. 2015. Ecological drivers of shark distributions along a tropical coastline. *PLoS ONE* 10: e0121346.

Tabla 1. Breve descripción de las fuentes de datos del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* consultadas en este estudio.

Fuente	Breve descripción
Literatura publicada	Artículos revisados por pares, libros y resúmenes de conferencias
Literatura gris	Reportes y revistas institucionales, y revistas de pesca (español y portugués)
Redes sociales	Búsquedas en Facebook™, YouTube™, Instagram™, Google™, y blogs y foros de pesca
Campañas científicas	Campañas a bordo, de costa y desembarques de pesca
Pesca comercial	Programas de observador a bordo
Colecciones ictiológicas	Museos, instituciones y universidades
Contacto profesional	Solicitudes por e-mail
Torneos de pesca	Trofeos



COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Tabla 2. Descripción de las variables ambientales utilizadas para modelar la preferencia ambiental del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* en el Atlántico Sudoccidental.

Variable	Fuente	Resol. espacial	Rango (mín – máx)	Unidad	Periodo
Estática					
Dist. a la costa	GSHHGD http://www.soest.hawaii.edu/pwessel/gshhg/index.html	0.016°	0.1 – 417	km	N/A
Profundidad	ERDDAP http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/etopo180.html	0.016°	-200 – 0	m	N/A
Pendiente	Derivado de batimetría utilizando la función <i>terrain</i> del paquete R 'raster'	0.016°	0 – 1.63	Ángulo	N/A
Dist. a caletas marinas	Creado utilizando la función <i>gDistance</i> del paquete R 'rgeos'	0.041°	0 – 16.66	Grados decimales	N/A
Dist. colonias de pinníp.	Creado utilizando la función <i>gDistance</i> del paquete R 'rgeos'	0.041°	0 – 6.52	Grados decimales	N/A
Dinámica					
Temp. superficial del mar	ERDDAP http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMH1sstmday.html	0.041°	5.89 – 24.89	°C	Ene/03– Ene/18
Dist. a frente térmico	Derivado de temperatura superficial del mar. Creado utilizando <i>gDistance</i>	0.041°	0 – 12.85	Grados decimales	Ene/03– Ene/18
Coef. de atenuación K490	ERDDAP http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMH1kd490mday.html	0.041°	0 – 1.72	m ⁻¹	Ene/03– Ene/18

ERDDAP = Environmental Research Division's Data Access Program

PODAAC = Physical Oceanography Distributed Active Archive Center

GSHHGD = Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database



Tabla 3. Modelos bimestrales finales que describen la preferencia ambiental del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* en el Atlántico Sudoccidental. Los predictores que más contribuyeron a cada modelo se muestran en negrita.

Periodo	N_{occ}	N_{ind}	Tasa omisión	AUC $\pm$ SD	Contribución de la variable (%)							
					TSM	dFTSM	Dist	Prof	Pend	dCale	Pinn	K490
Dic-Ene	31	30	0.000	0.852 $\pm$ 0.030	9.8	21.8	62.6	2.7	0.7	0.3	1.4	0.7
Feb-Mar	39	40	0.029	0.819 $\pm$ 0.025	2.6	0.3	48.5	1.3	3.0	7.7	34.7	1.9
Abr-May	18	23	0.000	0.751 $\pm$ 0.049	6.2	46.6	34.8	0.0	0.6	4.8	6.6	0.5
Jun-Jul	32	22	0.000	0.904 $\pm$ 0.021	5.3	2.1	27.1	8.0	0.2	12.4	25.1	19.8
Ago-Sep	22	20	0.053	0.850 $\pm$ 0.025	0.4	24.4	67.5	5.4	1.8	0.9	0.9	0.6
Oct-Nov	45	34	0.029	0.868 $\pm$ 0.015	0.7	15.1	56.9	21.9	1.0	0.1	1.4	2.9

N_{occ} = número de ocurrencias en los modelos; N_{ind} = número de ocurrencias en los datos independientes; AUC $\pm$ SD = área bajo la curva y su desvío estándar; TSM = temperatura superficial del mar; dFTSM = distancia a frente térmico; Dist = distancia a la costa; dCale = distancia a caletas marinas; Pinn = distancia a colonias de pinnípedos; K490 = coeficiente de atenuación difusa K490



COPIA ELECTRÓNICA INIDEP



Figura 1. Predicciones de los modelos finales MaxEnt de la distribución bimestral de hábitat preferencial del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* a lo largo del Atlántico Sudoccidental, y las ocurrencias utilizadas en dichos modelos (A). La localización de todas las ocurrencias (excepto neonatos) registradas en este estudio para las cuales la talla se conoció (juvenil o adulto) o no se conoció (sin medida) también se muestra (B).

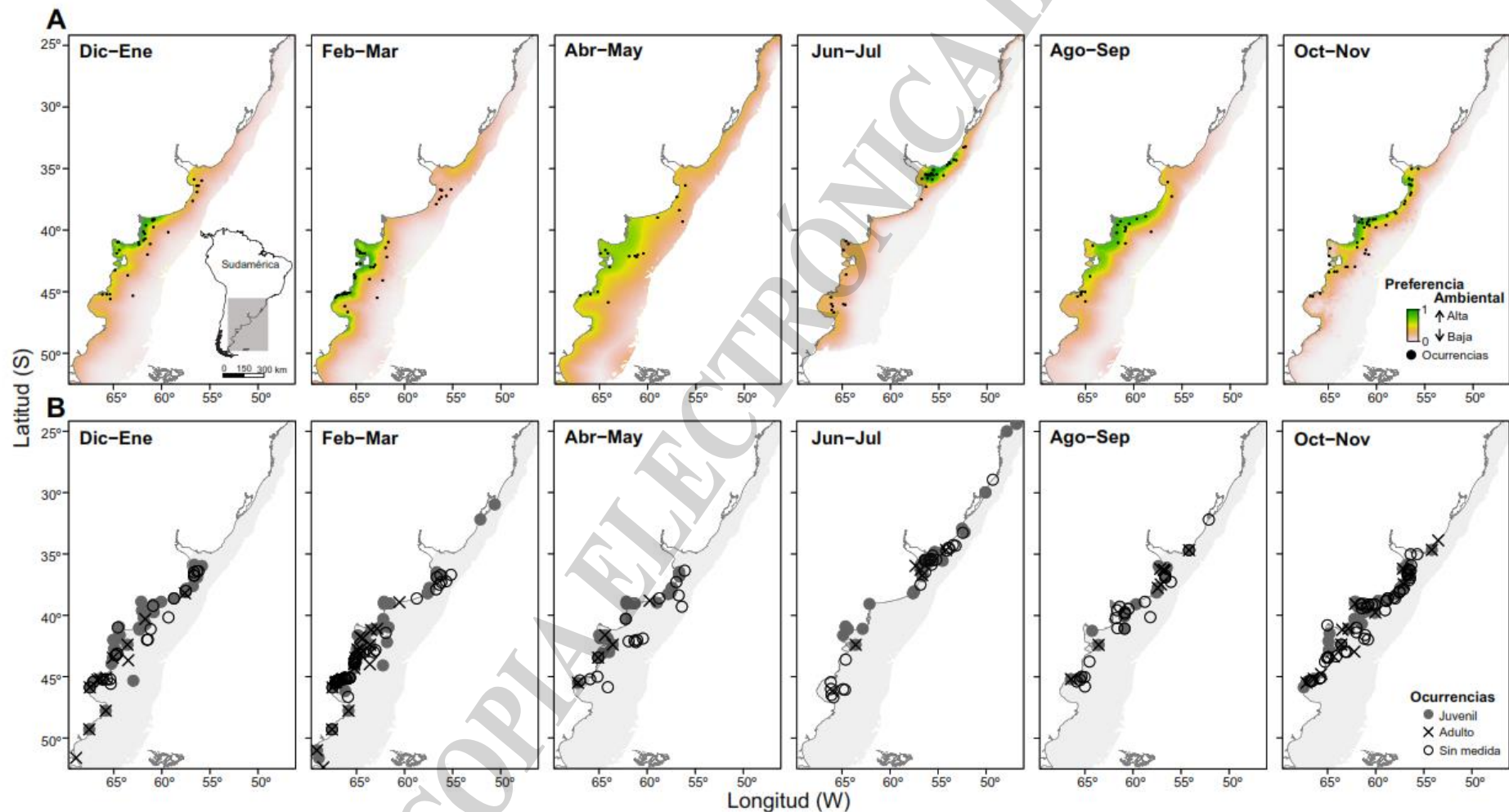


Figura 2. Mapas del índice de paridad orientada a la movilidad (MOP) que muestran el riesgo de extrapolación para las seis proyecciones bimestrales en el Atlántico Sudoccidental. Los valores de cero indican extrapolación estricta (áreas grises).

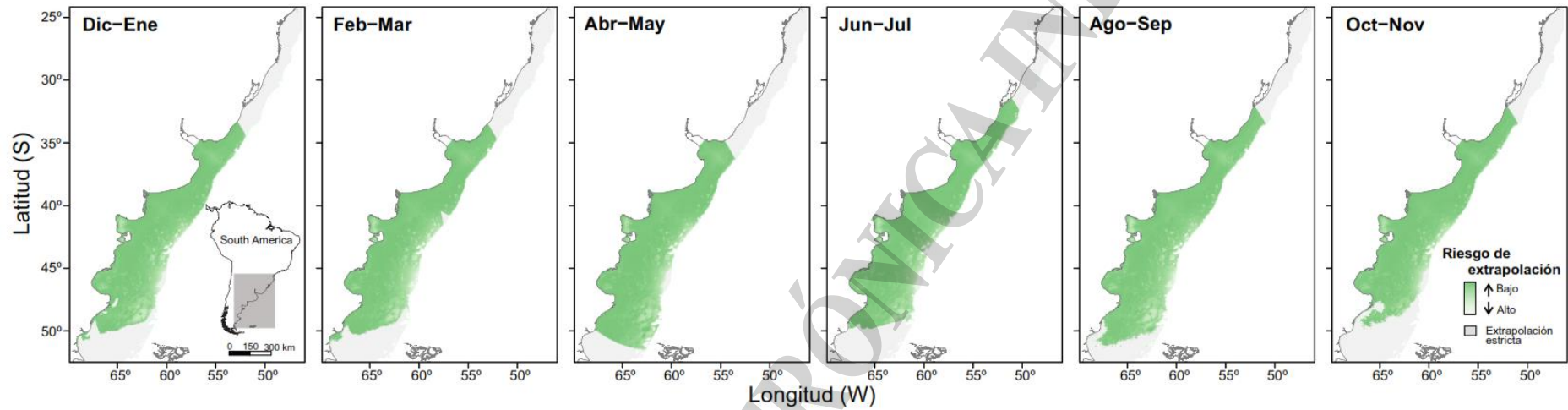
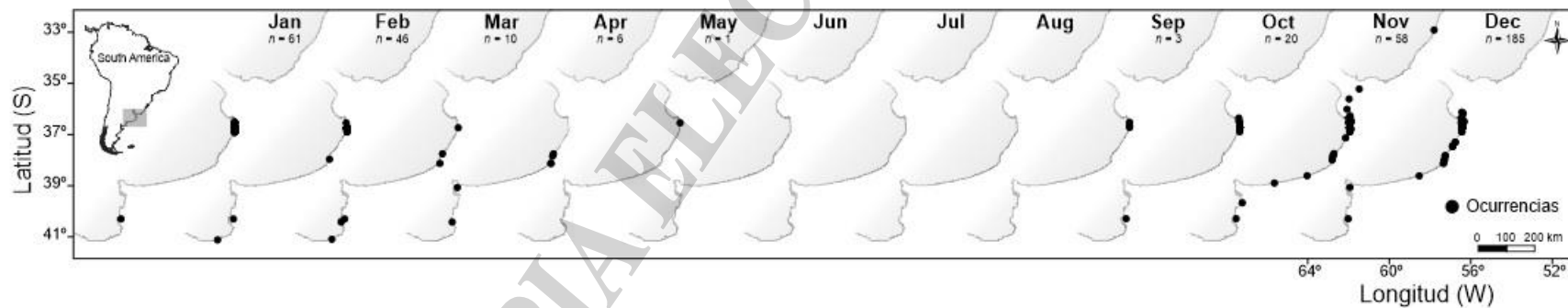


Figura 3. Localización mensual de neonatos del tiburón gatopardo *Notorynchus cepedianus* en el Atlántico Sudoccidental.





COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Figura 4. Respuesta a la preferencia ambiental de las variables ambientales que muestran cómo afectan a la predicción de MaxEnt en cada modelo.

