

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

RECOPIACIÓN DE ESPECIES MARINAS NO INDÍGENAS EN LAS AZORES Y REVISIÓN DE SUS IMPACTOS



Memoria de Trabajo de Fin de Grado

Ponta Delgada (Azores)

Autora: Andreu Martínez, Paula

Tutora Externa (Azores): [Ana Cristina Matos Ricardo Costa](#)

Tutora UMH: [Eva Graciá Martínez](#)

Modalidad: Biología aplicada

Departamento: Ecología

COIR: TFG.GCA.EGM.PAM.240515.



Recopilación de especies marinas no indígenas en las Azores y revisión de sus impactos.

Resumen:

El archipiélago de las Azores tiene actualmente una gran presencia de especies marinas no indígenas (“NIS”, del inglés *non-indigenous species*) que ocasionan, o pueden ocasionar, impactos sobre los ecosistemas autóctonos. Este trabajo consta de una revisión de datos de campañas realizadas y literatura de presencia de NIS en las Azores y de los impactos descritos aplicables a las islas oceánicas. De la información obtenida de estas campañas de monitorización marina, se han identificado y compilado las especies no indígenas en una única base de datos para su publicación en abierto, para una mejor evaluación de las áreas/hábitats afectados en las Azores, siguiendo el objetivo de desarrollo sostenible de la UE de acción por el clima (13) y la vida submarina (14). Además, se han analizado algunas hipótesis sobre el origen de la presencia de NIS. Nuestros resultados sugieren que el tamaño de las islas y el tráfico marítimo guardan relación con la presencia de estas especies. Finalmente, se ha desarrollado una revisión de los impactos que ocasionan.

Palabras clave: NIS, distribución, Pérdida de biodiversidad, NCP, GBIF.

Compilation of non-native marine species in the Azores and review of their impacts.

Abstract:

The Azores archipelago currently has a high presence of non-indigenous marine species (NIS) that cause or may cause, impacts on native ecosystems. This paper reviews the monitoring project’s data and literature on the presence of NIS in the Azores and the described impacts applicable to oceanic islands. The information obtained, specifically the non-indigenous species, has been identified and compiled for publication as an open biodiversity database to assess better the affected areas/habitats in the Azores, following the EU sustainable development goal of climate action (13) and life below water (14). In addition, some hypotheses on the origin of the presence of NIS have been analyzed. Our results suggest that island size and marine traffic are related to the presence of these species. Finally, a review of the impacts caused by these species has been developed.

Keywords: NIS, distribution, Biodiversity loss, NCP, GBIF.

Agradecimientos:

Este trabajo no habría podido ser posible sin Ana Costa y Zita, que me acogieron cuando estaba lejos de casa y me ayudaron a entender la biodiversidad y belleza que tienen las islas Azores , gracias por haber seguido ahí aún con un oceano de por medio.

Y a Eva, por guiarme, escucharme y responder a todas mis dudas las veces que hiciera falta cuando estaba perdida.

Este trabajo tambien tienen un trocito vuestro.

Pero, sobre todo, he llegado hasta aquí gracias a mi familia, que siempre me han apoyado en todo momento como mejor han podido y me han ayudando a cerrar puertas.

Y a los amigos que me he dado la carrera, con vosotros compartiendo mi carga todo es menos pesado y más divertido, no se si habria soportado tantas tardes y noches de estudio si no fuera porque estabais conmigo.

Gracies a totes per compartir moments.



ÍNDICE

1.	RESUMEN	3
2.	AGRADECIMIENTOS Y CONTRIBUCIONES	4
3.	INTRODUCCIÓN	7
	<i>3.1- Vulnerabilidad de las islas remotas ante invasiones biológicas.</i>	
	<i>3.2- La amenaza para las especies endémicas por la presencia de especies no indígenas en islas.</i>	
	<i>3.3- El caso específico de las Azores y su diversidad biológica.</i>	
5.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	11
6.	MATERIAL Y MÉTODOS	13
	<i>6.1.- Área de estudio seleccionada.</i>	
	<i>6.2.- Recogida y homogenización de datos para la tabla de presencia de especies no indígenas.</i>	
	<i>6.3.- Caracterización de las especies como no indígenas.</i>	
	<i>6.4.- Búsqueda bibliográfica de eventos de presencia de especies no indígenas</i>	
	<i>6.5.- Estructura de la base de datos.</i>	
	<i>6.6.- Análisis para el diagnóstico de la afectación de áreas por especies no indígenas y de los factores relacionados con su proceso de establecimiento.</i>	
	<i>6.7.- Búsqueda bibliográfica para el análisis de impactos y Contribuciones de la Naturaleza a las Personas.</i>	
	<i>6.8.- Análisis de impactos y Contribuciones de la Naturaleza a las Personas.</i>	
7.	RESULTADOS	22
	<i>7.1.- Recogida y homogenización de datos para la tabla de presencia de especies no indígenas.</i>	
	<i>7.2.- Análisis para el diagnóstico de la afectación de áreas por especies no indígenas y de los factores relacionados con su proceso de establecimiento.</i>	
	<i>7.3.- Análisis de impactos y Contribuciones de la Naturaleza a las Personas a partir de la búsqueda bibliográfica.</i>	
	<i>7.4.- Análisis de especies con potencial invasor en el marco de las Contribuciones de la Naturaleza a las Personas</i>	

8. DISCUSIÓN	30
8.1.- <i>Patrones de distribución e impactos de especies no indígenas en las Azores.</i>	
8.2.- <i>El seguimiento y la recopilación de información sobre especies no indígenas en islas.</i>	
8.3.- <i>Metodología de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas.</i>	
8.4.- <i>Efectividad de las medidas de gestión actuales.</i>	
8.5.- <i>Implicaciones para la conservación en las Azores.</i>	
8.6.- <i>Limitaciones y futuras líneas de investigación.</i>	
9. Conclusiones y Proyecciones futuras	35
10. Bibliografía	36
11. Anexo	39



INTRODUCCIÓN

Vulnerabilidad de las islas remotas ante invasiones biológicas.

Las islas oceánicas remotas son particularmente vulnerables a las invasiones biológicas, siendo éstas una de las causas directas de pérdida de biodiversidad y uno de los problemas más significativos globalmente (Rockström et al., 2009). Los impactos relacionados abarcan desde la pérdida de diversidad genética hasta la disminución de la diversidad de población nativa, desplazamientos de especies, modificaciones del hábitat e incluso cambios en ecosistemas enteros (Mace et al., 2012).

La vulnerabilidad de las islas subyace al hecho de que son masas de tierra aisladas que, debido a este aislamiento geográfico, usualmente tienen sistemas ecológicos simplificados que contienen especies altamente adaptadas y una alta concentración de endemismos con tamaños de poblaciones pequeños, bajas tasas de reproducción y una falta de defensas ante depredadores en comparación con sus contrapartes continentales (MacArthur et al., 1967; Blumstein, et al., 2005; Kier et al., 2009). Este aislamiento histórico y geográfico, además de la disminución de la posibilidad de redistribuirse a otras áreas, hace que aumente su susceptibilidad a las invasiones biológicas e impactos antrópicos (Richardson 1992). Por lo tanto, todo esto hace que las disminuciones y desapariciones de especies de las islas sean especialmente rápidas (Dudgeon et al., 2006).

Aunque las islas comprenden solo el 5,3% de la superficie terrestre mundial [UNEP-WCMC, (Cambridge, UK, 2015), son considerados como “hotspots” de biodiversidad y epicentros de pérdida de la misma (Kreft et al., 2008; Kier et al., 2009), puesto que albergan el 61% de las extinciones conocidas y el 37 % de especies en peligro crítico de extinción (Tershy et al., 2015). Ante este escenario, se hace evidente la necesidad imperiosa de implementar programas de seguimiento biológico exhaustivos y continuos (Pyšek et al., 2020).

Anteriormente en las Azores solo se disponía de información oportunista/ocasional de la presencia de NIS pero, gracias a la implementación de la “Directiva Quadro sobre a Estratégia Marinha” (DQEM; UE, 2008, UE, 2010, UE, 2017), en la actualidad hay una monitorización constante.

Estos esfuerzos de monitoreo son fundamentales para diagnosticar con precisión la diversidad presente, evaluar el estado de conservación de las especies e identificar y cuantificar las amenazas existentes y emergentes (Latombe et al., 2017).

La protección efectiva de estos ecosistemas insulares únicos requiere un enfoque multidisciplinario y colaborativo, involucrando a científicos, organizaciones conservacionistas y administraciones con competencia en materia de conservación e incluso a la población local (Ostrom, E., 2009).

La amenaza para las especies endémicas por la presencia de especies no indígenas en islas

La introducción y propagación de especies no indígenas (NIS, del inglés *non-indigenous species*) se consideran entre las principales amenazas a la biodiversidad a nivel mundial, en diferentes escalas y grados (Bax et al., 2003; Molnar et al., 2008; Hulme et al., 2009; Pyšek y Richardson, 2010; Vilà et al., 2011; Kumschick et al., 2015). Las NIS se definen como el conjunto de especies introducidas directa o indirectamente por las actividades humanas en entornos que están fuera de su rango de distribución natural pasado o presente (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012). Se han introducido miles de especies fuera de sus áreas de distribución nativas por los humanos, y el número de estas NIS establecidas ha aumentado considerablemente en todo el mundo durante los dos últimos siglos (Seebens et al., 2017).

Por su parte, las especies invasoras son un subconjunto dentro de las NIS que, además de no ser nativas, causan o es probable que causen daños significativos al ecosistema, la economía o la salud humana. Esto hace que la presencia de especies invasoras sea una amenaza para la biodiversidad, ya que son la primera causa de extinciones en islas (Blackburn et al., 2004). A causa de esto, muchas de las especies autóctonas se encuentran amenazadas por la presencia de especies NIS, las cuales están implicadas en el 86 % de extinciones (Bellard et al., 2016).

Estas extinciones y declives poblacionales también suponen alteraciones del suelo, cambios en las interacciones ecológicas e incluso la transformación de comunidades ecológicas enteras (Temple 1977; Astan et al., 2013). Tal es su impacto, que son objeto de una serie de instrumentos legislativos, como la Estrategia de Biodiversidad de la Unión Europea (UE) (CE, 2014) o la “Directiva Quadro sobre a Estratégia Marinha”, que pretenden minimizar su impacto.

La globalización del comercio marítimo desempeña un papel clave en la propagación acelerada de NIS de un gran número de especies a áreas más allá de sus barreras biogeográficas usuales de distribución (Blackburn et al., 2011). Considerar las rutas de tráfico marítimo que cruzan y conectan las islas es especialmente relevante para archipiélagos remotos, como el de las Azores (Fig. 1).

En el caso de las Azores, se ha descrito que la bioincrustación es el principal vector de introducción, seguido por las aguas de lastre y las introducciones no deliberadas como, por ejemplo, debidas a acuariofilia. La existencia del tráfico marino ha intensificado la introducción de especies en ecosistemas ajenos a su hábitat original, convirtiéndose en una de las principales vías de invasiones biológicas en ambientes marinos y costeros (Costa et al., 2021).

Ante la carencia de protocolos de gestión efectivos para reducir la introducción de NIS adheridas a los cascos de las embarcaciones, es previsible que la cantidad de estas especies introducidas a través de los puertos de estos archipiélagos sea directamente proporcional al volumen de tráfico marítimo en cada zona. En consecuencia, la hipótesis es que las áreas con mayor flujo de embarcaciones serán más susceptibles a la presencia de un número elevado de NIS.

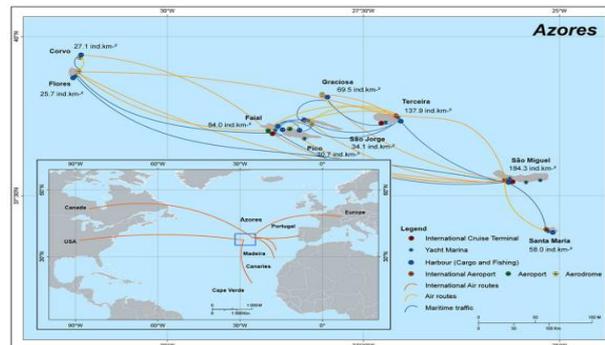


Figura 1: Rutas de entrada principales para especies no indígenas en las islas Azores (Costa et al. 2021)

El caso específico de las Azores y su diversidad biológica.

Las Azores son hogar de una biota única (Santos et al., 1995). Su diversidad biológica es el producto de cuatro procesos clave, especiación, inmigración, emigración y extinción (Cracraft 1994). Estos procesos están siendo perturbados y moldeados por las actividades humanas (Vitousek et al., 1997). Debido a la introducción de NIS en el archipiélago, estas ganan terreno a expensas de las especies autóctonas y provocan cambios en el hábitat, el ciclo de nutrientes y la estabilización de sedimentos (Castro et al., 2010; Kueffer et al., 2010).

Todas las islas en las Azores están formadas por rocas volcánicas (principalmente basalto) rodeadas por aguas profundas (una profundidad de 1000 m puede ser encontrada a tan solo 2 o 3 km de la costa). En muchos sitios la costa consiste en acantilados altos y empinados mientras que otros están formados de masas largas e irregulares de rocas. Por otra parte, las costas arenosas son pocas en número. La comunidad marina dominante es la intermareal de macroalgas en forma de césped, principal característica estructural de las costas de las Azores. (Neto 2000a, 200b).

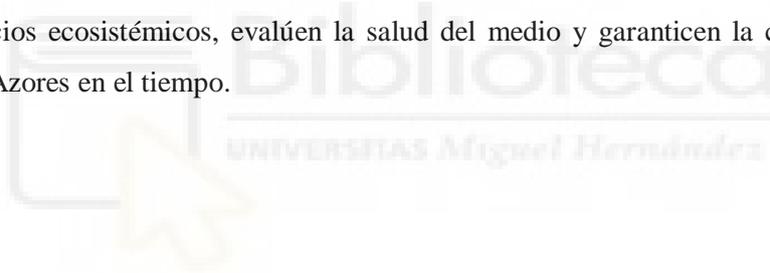
Las especies no autóctonas (NIS) marinas están generando impactos significativos en los ecosistemas de las Azores, afectando diversos aspectos ecológicos, económicos y sociales del archipiélago (Parlamento Europeo 2020).

En el ámbito ecológico, las NIS están provocando una notable pérdida de biodiversidad. Algas invasoras, como la *Rugulopterix okamurae*, están alterando drásticamente los hábitats marinos hasta profundidades de 40 metros, desplazando a las comunidades nativas de algas fotófilas, fondos de coralígenos y praderas de fanerógamas marinas (Faria et al., 2022).

El sector pesquero también se ha visto particularmente afectado por la proliferación de NIS. Las algas invasoras no solo limitan las zonas de pesca, sino que también han provocado una disminución en la presencia de especies comerciales como el atún rojo y la sardina (Faria et al., 2022). Asimismo, los ayuntamientos costeros se ven obligados a destinar recursos para la limpieza de las playas afectadas por acumulaciones de algas invasoras (Pérez, 2020).

Por último, las NIS están alterando importantes servicios ecosistémicos. La proliferación de algas y cianobacterias en la superficie marina reduce la penetración de luz solar en aguas más profundas, afectando la productividad del ecosistema (Vitousek et al., 1997).

Es importante destacar que estos impactos son el efecto acumulativo de diversas NIS marinas que han colonizado las Azores (Castro et al., 2022). Diagnosticar la presencia de NIS, sus potenciales impactos y vectores de transporte, es necesario para diseñar estrategias de gestión que prevengan pérdidas de servicios ecosistémicos, evalúen la salud del medio y garanticen la conservación de la diversidad de las Azores en el tiempo.



ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

Gracias al programa de movilidad ERASMUS me desplazé a la Universidad de Azores, en la cual el departamento de zoología marina ha realizado programas de seguimiento de presencia de NIS acuáticas. La Universidad de las Azores ha desempeñado un papel fundamental en la investigación de la biodiversidad marina del archipiélago, incluyendo el estudio de NIS. El eje central de estos esfuerzos es el de reportar a la “Directiva Quadro Estratégia Marinha” (DQEM), sin embargo, el objetivo es poner la información recolectada a disposición de bases de datos de registro de especies como GBIF. También se utilizará para actualizar los registros del Portal de la Biodiversidad de las Azores (PBA), una herramienta desarrollada por la institución.

La DQEM, establecida por la Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, es un marco de acción comunitaria que tiene como objetivo lograr o mantener un buen estado medioambiental de los ecosistemas marinos en las aguas europeas, promoviendo la investigación en áreas clave como la taxonomía y la biología de la conservación. Esta directiva se implementa en el contexto de la política marítima integrada de la Unión Europea y busca proteger, preservar y mejorar el medio marino, asegurando que no haya riesgos significativos para la biodiversidad y los ecosistemas marinos. Esta aborda indirectamente la cuestión de las NIS marinas, al establecer un marco para la protección de la biodiversidad.

La investigación sobre las especies presentes en el archipiélago de las Azores es crucial para identificar y gestionar adecuadamente las NIS. Con aproximadamente 11.500 especies registradas, un tercio de las cuales son marinas, este tipo de base de datos permite visualizar la distribución de especies y evaluar cómo las NIS pueden impactar en la biodiversidad local.

La universidad promueve activamente la investigación en campos como taxonomía, ecología, biogeografía y biología de la conservación, áreas que inevitablemente abordan la cuestión de las NIS marinas. El presente trabajo de fin de grado se enmarca en dicho proyecto y parte de una base de datos con más de 4000 registros de ocurrencias iniciales procedentes de bases proporcionadas de estudios anteriores, tal como se explicará en el apartado sobre recogida y homogenización de datos en el apartado de Materiales y Métodos. Entre estos registros hay algunos que corresponden a NIS, que serán los utilizados para compilar una base de datos específica de NIS marinas en Azores.

De este modo, el objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es el de contribuir al diagnóstico de la presencia de NIS en las Azores, identificando NIS en registros de especies previos de datos históricos, publicados y de campo, tras dos décadas de programas de seguimiento de la DQEM. Estos datos serán publicados en GBIF para proporcionar datos actualizados a la comunidad científica y a la sociedad.

Partiendo de estos datos, se lleva cabo un análisis estadístico sencillo para ilustrar cómo las bases de datos, como esta, pueden ser útiles para diagnosticar áreas afectadas e identificar factores relacionados con el proceso de establecimiento de NIS. Concretamente, para diagnosticar la afectación se analizarán las diferencias en la riqueza de NIS y en el número de registros: i) entre los grupos de islas del archipiélago; ii) entre hábitats marinos. Para diagnosticar factores relacionados con el proceso de establecimiento de NIS se estudiará la relación de la riqueza de especies y en el número de registros: iii) el tamaño de las islas; iv) la capacidad portuaria; y v) el tráfico marítimo.

También se realiza una revisión de impactos ya documentados de las especies NIS en Azores a partir de búsquedas en Google Scholar. Además, se seleccionarán algunas especies NIS registradas que, aunque no tengan impactos actuales descritos en Azores, se haya demostrado que tengan gran capacidad de invasión en otras áreas. Estas especies se analizarán en el marco de las “Contribuciones de la Naturaleza a las Personas” (en inglés “*Natural Contribution to People*”) con datos obtenidos de búsquedas bibliográficas para anticipar sus impactos en las Azores, apoyando los objetivos de desarrollo sostenible de la UE de acción por el clima y vida submarina (Agenda 2030 UE).



MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio seleccionada

Las Azores son un archipiélago formado por nueve islas de origen volcánico localizado en el Océano Atlántico entre las latitudes 36° 45' N y 39° 43' N y las longitudes 24° 45' W y 31° 17' W, con una distancia de Portugal de aproximadamente 1500 km (Borges et al., 2023).

El archipiélago tiene una superficie total de 2.322 km² y 1,200 km de costa, y más de 110.000 km² de áreas marinas protegidas, incluidos un conjunto de hábitats costeros, áreas de alta mar, montes submarinos, fuentes hidrotermales y grandes extensiones de dorsales oceánicas. Estas áreas están integradas en la red de áreas marinas protegidas (AMP) recientemente establecida, que constituye la piedra angular de las políticas de conservación marina de las Azores.

El archipiélago se extiende a lo largo de 615 km y está alineado en dirección oeste/noroeste-este/sureste. Las islas se dividen en tres grupos: el grupo occidental de Corvo y Flores; el grupo central de Faial, Pico, Graciosa, São Jorge y Terceira; y el grupo oriental de São Miguel y Santa María. La isla más grande es São Miguel (745 km²) y la más pequeña es Corvo (17 km²). Pico tiene la elevación máxima más alta, con el pico más alto de Portugal (2351 m) y Graciosa la elevación máxima más baja (402 m s. n. m.). Otras cinco islas tienen elevaciones cercanas a los 1000 m (Borges et al. 2010) (Fig. 2).

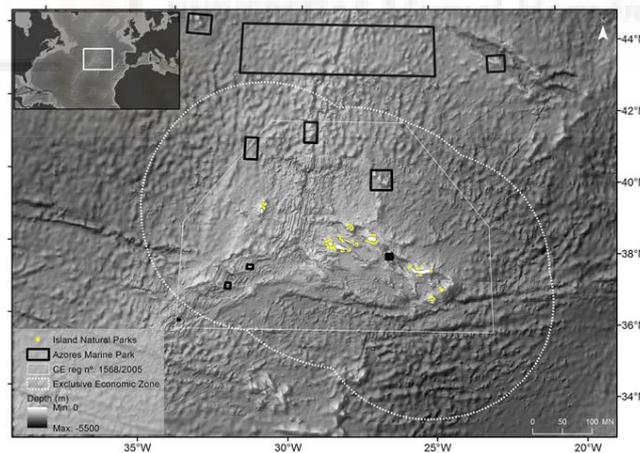


Figura 2: Archipiélago de las Azores, situado en el centro del Atlántico Norte, con la distribución de batimetrías y las actuales áreas marinas protegidas incluidas en los Parques Naturales Insulares y el Parque Marino de las Azores. El mapa muestra también los límites de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de las Azores y la zona de exclusión de la pesca de arrastre impuesta por la normativa de la UE (Reglamento CE 1568/2005). Gráficos: R.

Medeiros ©ImagDOP.

El clima del archipiélago de las Azores es templado oceánico. La temperatura media anual es de 17° C a nivel de mar, las precipitaciones varían de 1.500 a más de 3.000 mm por año, aumentando con la altitud y de este a oeste y la humedad relativa es alta (Silva 2001).

Respecto a las condiciones ambientales marinas, el clima de las Azores está influenciado por el anticiclón atlántico subtropical conocido como el Alto de las Azores, que afecta las condiciones climáticas con variaciones estacionales significativas. Las aguas del archipiélago mantienen temperaturas moderadas gracias a la Corriente del Golfo, que varía entre 16 °C en invierno y 25 °C en verano (Amorim et al., 2017). Además, las Azores han creado la mayor zona marina protegida del Atlántico Norte, abarcando casi 300,000 kilómetros cuadrados para preservar estos ecosistemas únicos (Abecasis et al., 2015)

Las condiciones abióticas de las Azores, su aislamiento extremo, tanto del continente como de las islas vecinas dentro del archipiélago, y la edad relativamente joven de la mayoría de las islas, determinan el carácter único de la biota de las Azores. Influenciadas por estos factores ambientales, presentan una característica peculiar en su biodiversidad: tienen un número inusualmente alto de especies nativas que se encuentran ampliamente distribuidas por todo el archipiélago. Al mismo tiempo, se observa una baja cantidad de eventos de diversificación, lo que significa que se han formado pocas especies nuevas únicas de estas islas.

Como resultado, encontramos una cantidad menor de especies endémicas restringidas a una sola isla, en comparación con lo que se observa en otros archipiélagos similares. Esta situación contrasta con lo que típicamente se espera en islas oceánicas, donde suele haber más especies únicas evolucionando de forma aislada en cada isla (Carine et al., 2009).

Recogida y homogeneización de datos para la tabla de presencia de especies no indígenas.

La tabla de datos de presencia de NIS se crea a partir de diversas bases de datos de eventos de presencia de especies autóctonas y no indígenas de las Azores de más tres décadas de proyectos de monitorización (Tabla 1) y de programas de seguimiento de la “Directiva Quadro Estratégia Marinha” (DQEM). Además de algunos estudios/publicaciones y otros programas de seguimiento.

Estas se unen, eliminando entradas duplicadas y homogenizando los datos para un análisis adecuado. Además de esto, el equipo de investigación de la Universidad de los Azores aportó 14 artículos seleccionados, siendo 5 de ellos literatura gris, no accesibles al público por ser publicaciones antiguas, documentos propios del equipo de investigación o proyectos realizados para el gobierno portugués.

Con todos los eventos pertinentes en la tabla, se identificó la información ausente en las entradas de eventos y ocurrencias que no permitían la correlación entre los eventos de los muestreos y las especies identificadas, rechazando las entradas sin datos críticos como las fechas o coordenadas, ya que sin ellas no se podían enlazarse con seguridad. Por último, se homogeniza la tabla, procediendo a una limpieza de entradas duplicadas mediante R (R Core Team 2021).

Tabla 1: Registro de proyectos de monitorización y seguimiento de especies marinas.

Titulo	Fecha	Equipo desarrollador
Inspect - Introduced marine alien species in Portuguese estuaries and coastal areas: patterns of distribution and abundance, vectors and invading potential PTDC/MAR/735797/2006.	2008/2011	IR: Prof. Doutora Maria José Costa (FCC).
MOST - Application of a model of sustainable tourism to areas of Natura 2000 network in the Azores PTDC/AAC-AMB/104714/2008.	2010/2013	IR: Prof. Doutora M. Anunciação Ventura
ASMAS - Açores: Stop-over for Marine Alien Species? - M2.1.2/I/032/2011.	2012/2015	
BALA – Programa de Implementação da Diretiva-Quadro Estratégia Marinha Biodiversidade dos Ambientes Litorais dos Açores. Secretaria Regional do Mar, Ciência e Tecnologia, Direcção Regional dos Assuntos do Mar (Governo Regional dos Açores); 15.9840€.	2015/2017	A Botelho, MI Parente.
PIMA - Programa de Implementação da Diretiva-Quadro Estratégia Marinha – Programa Invasoras Marinhas nos Açores. DRP/SRCTM/GRA; Secretaria Regional do Mar, Ciência e Tecnologia, Direcção Regional dos Assuntos do Mar (Governo Regional dos Açores); 89 992,60 €.	2015/2017	Ana Costa (PI), A Botelho, MI Parente, D Gabriel, J Micael, S Ávila.
Campanha de monitorização de Áreas Marinhas em São Miguel, Santa Maria e Formiças. Financiada pela Waitt Foundation,	2016	Missão Waitt Foundation
NIS-DNA Deteção precoce e monitorização de espécies não-indígenas (NIS) em ecossistemas costeiros baseadas em ferramentas de sequenciação de alto débito, PTDC/BIABMA/29754/2017	2018/2020	IR Sofia Ribeiro (UMinho)

Blue Azores Expedition 2018	2018	Program of the Oceano Azul Foundation in cooperation with the Waitt Foudation and with the collaboration of National Geographic - Pristine Seas, through a partnership with the Regional Government of the Azores – Pico / Faial / Flores / Corvo, junho
MONIS “Execução da atividade 2.2.1 – Programas de monitorização, caracterização e análise da distribuição espacial de espécies não-indígenas e seus impactos em áreas marinhas protegidas, no âmbito do projeto PLASMAR + MAC2/1.1a/347” (MONIS). Ajuste Direto N.o 20/DRAM/2021.	2022	CIBIO Açores, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada

El equipo de trabajo empleó diversas metodologías para establecer la presencia de especies en los muestreos realizados. Estas incluyeron registros no destructivos de todas las especies presentes, así como muestras destructivas obtenidas mediante raspado de superficies y recolección manual, tanto en zonas intermareales como submareales. La identificación de especímenes fue llevada a cabo por taxónomos expertos, utilizando técnicas microscópicas y, cuando fue necesario, estudios más detallados como preparaciones histológicas. Las muestras se conservaron en etanol al 90% para posibles análisis genéticos futuros. Este enfoque integral permitió una evaluación exhaustiva y precisa de las especies presentes en los lugares de muestreo.

Caracterización de las especies como no indígenas.

La clasificación de NIS es una práctica compleja por la diversidad de variables que hacen que una especie pueda ser o no clasificada como NIS. Para ello tenemos que tener en cuenta tanto las migraciones de la fauna marina, como los movimientos de corrientes y geoceánicas del área en cuestión, en este caso, Azores.

Las islas Azores están situadas entre la corriente Atlántica Norte y la corriente Canaria, por lo que consideraremos NIS aquellas especies cuyos movimientos migratorios no correspondan a dichas corrientes ni hayan podido transportarse a través de fauna marina, ya que esto indica que lo más probable es que ha habido intervención humana (Fig. 3).

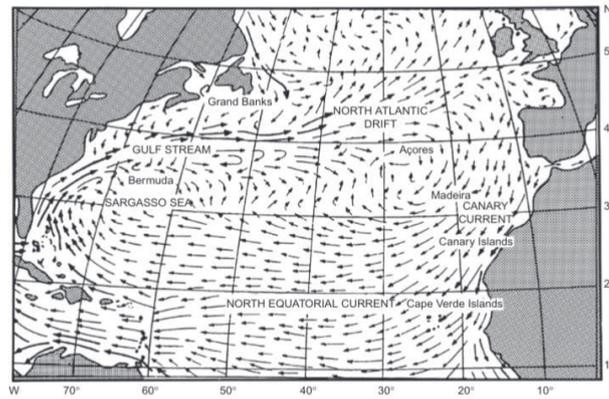


Figura 3: Distribución de las corrientes principales que unen Azores, América, Europa y Madeira) (Morton and Martins, 2019)

Por otro lado, nos encontramos con la cuestión de si el cambio climático es un vector natural o consideramos que las especies introducidas a causa de estos vectores son categorizadas como NIS. En este caso se ha seguido el criterio de Essl et al., (2018), en el cual, las especies indígenas son consideradas aquellas no relacionadas con hábitats modificados por actividades humanas, que ocurren en hábitats nativos y presentes en otros archipiélagos. Siendo clasificadas como NIS aquellas especies que tienen movimientos mediados por humanos a través de barreras biogeográficas desde su presunto origen nativo/indígena.

En el caso de las Azores, el filtro biogeográfico es fácil de detectar por su distancia a la península (~ 1500km) y la barrera física delimitada por el océano Atlántico.

Con todas las bases de datos de información recopiladas de anteriores campañas y artículos de la búsqueda bibliográfica se seleccionaron las especies adecuadas para la creación de la base de datos de presencia.

Búsqueda bibliográfica de eventos de presencia de especies no indígenas

Se realizó una búsqueda bibliográfica puntual en Google Scholar con las palabras clave: Azores, NIS, Especies invasivas y marinas, lo que dio 380 resultados, de los que se descartaron los registros idénticos a los ya presentes en la tabla o los que pertenecían a los proyectos ya considerados (Tabla 1).

Estructura de la base de datos

La base de datos relaciona las ocurrencias de presencia con los eventos de proyectos de las especies gracias a un número identificativo del proyecto. Este número identificador hace posible enlazar los eventos y las ocurrencias dinámicamente, de forma que si los datos de los eventos son modificados desde la raíz (Event_ID) estos se alteran hasta la vinculación de los eventos con las ocurrencias.

La estructura de la base de datos dinámica consiste en cinco tablas (Fig. 4):

- La primera consiste en una tabla de datos de eventos con el objetivo de la creación de un número identificador de cada evento con sus principales características, (Event ID) para relacionar estos con las diferentes ocurrencias de forma automática, lo cual reduce el error humano de la creación de números identificativos.
- La segunda es una tabla de eventos (Event NIS), en la cual se recogen los datos de los proyectos de muestreos realizados por diversos proyectos.
- La tercera es una tabla de ocurrencias (Ocurrence) en la que se identifican las especies observadas en cada evento.
- La cuarta (Taxón) contiene una clasificación taxonómica de las especies.
- Por último, la quinta tabla es la estándar para publicar una base de datos en GBIF (TABELA FINAL), en esta se duplican los datos de eventos, ocurrencias y taxonomía para crear una estructura homogénea y añadirla a la base de datos de GBIF.

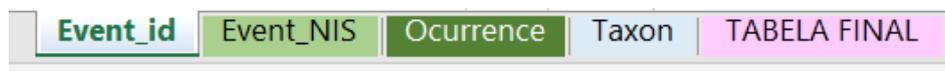


Figura 4: Estructura de la tabla de datos

Los eventos y ocurrencias se vincularon manualmente, usando el número identificador del evento, de una a una (Event_NIS – Event_ID) y de una a muchas (Event_ID – Ocurrencias) .Ya que las variables necesarias para vincular un evento a múltiples ocurrencias son demasiadas para realizar una automatización en Excel sin errores significativos, para ello se tienen en cuenta las coordenadas, el proyecto al que corresponde cada una, la profundidad a la que se realizó la muestra y la fecha.

Análisis para el diagnóstico de la afectación de áreas por especies no indígenas y de los factores relacionados con su proceso de establecimiento.

Análisis estadístico para diagnosticar áreas afectadas

Con el propósito de demostrar la necesidad y utilidad de las bases de datos, se realizaron análisis estadísticos utilizando como variables respuestas la riqueza de NIS y el número de registros de NIS para diagnosticar áreas afectadas. En primer lugar, se realizaron análisis Chi-cuadrado para evaluar si existen diferencias entre los tres grupos de islas (occidental: Corvo y Flores; central: Faial, Pico, Graciosa, São Jorge y Terceira; oriental: São Miguel y Santa María). Las proporciones esperadas en el análisis fueron corregidas según el nº de islas de cada grupo. En segundo lugar, se realizaron análisis Chi-cuadrado para evaluar diferencias entre tipos de hábitat. Los tipos de hábitat en los que las NIS se encuentran presentes fueron inferidos gracias a cartografía digital de *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet; <https://emodnet.ec.europa.eu/en>), considerando únicamente categorías de hábitat superior (las formadas por letra y número).

Análisis de factores relacionados con el proceso de establecimiento de especies no indígenas.

También se utilizaron la riqueza de NIS y el número de registros de NIS como variables respuesta para evaluar algunos de los factores que pueden estar implicados en el establecimiento de estas especies. Concretamente, se emplearon Modelos Lineales (GLM) univariantes con distribuciones de Poisson, considerando como variables explicativas el tamaño de las islas, el tráfico de barcos y las capacidades de los puertos. La información relativa al tráfico de barcos y capacidades de los puertos fue obtenida de la Dirección Regional de Asuntos Marinos (DRAM), de la misión del Gobierno Regional de Azores en el marco del proyecto LIFEmNIS (2010-2023). Debe considerarse que algunas islas no tienen información sobre tráfico de barcos y capacidad de puertos, por no ser para éstas un medio de comunicación significativo. Finalmente, se construyó un modelo multivariante con las variables explicativas significativas para analizar su relevancia de manera conjunta.

Búsqueda Bibliográfica para el Análisis de impactos y Contribuciones de la naturaleza a las personas.

La información obtenida de la revisión bibliográfica se organizó en dos tablas diferenciadas:

La primera fue una tabla de impactos en la que se realizó una búsqueda de los impactos que se han observado de forma global por parte de NIS que afectan a las Azores en particular, la búsqueda se realizó en Google Scholar con las palabras clave: *non indigenous species + NIS + impact + marine + Azores*. Dando 1.040 resultados y seleccionando artículos con información relativa a los impactos. Esta selección se realizó mediante una lectura superficial de los resultados en la que se detectó la información pertinente. A continuación, se extrajeron los impactos con una lectura extensiva de los artículos seleccionados. La estructura de la tabla generada se muestra en la Fig. 5.

Especies	Localización	Impacto	Positivo/Negativo
----------	--------------	---------	-------------------

Figura 5.- Estructura de la tabla de impactos

La segunda tabla consiste en una la tabla de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas de las NIS, en la que se hizo una selección de especies apropiadas para el análisis, a aquellas con más potencial de impacto significativo e invasión, a saber: *Amathia verticillata*, *Rugulopteryx okamurae*, *Ficopomatus enigmaticus*, *Branchioma luctuosum* y *Halimeda incrassata*.

Esta selección se basa en su demostrada capacidad de invasión, sus características biológicas que favorecen el establecimiento y la expansión, y su potencial para causar impactos significativos en los ecosistemas invadidos (Tobin, 2018). Estas especies comparten atributos comunes de invasores conocidos, como alta capacidad reproductiva, plasticidad ecológica y competitividad superior (Russell et al., 2014).

Su selección permite un análisis focalizado en las especies que representan las mayores amenazas y, por lo tanto, requieren una atención prioritaria en términos de gestión y conservación (Mack et al., 2000). Las palabras clave de las búsquedas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Términos utilizados para hacer las búsquedas a través de Google Scholar

<i>Amathia verticillata</i> + impactos + Ecosistem Services + Azores.
<i>Rugulopteryx okamurae</i> + impactos + Ecosistem Services + Azores.
<i>Ficopomatus enigmaticus</i> + impactos + Ecosistem Services + Azores.
<i>Branchioma luctuosum</i> + impactos + Ecosistem Services + Azores.
<i>Halimeda incrassata</i> + impactos + Ecosistem Services + Azores.

Se utiliza la palabra clave de *Ecosistem Services* en la búsqueda ya que, aunque el análisis realizado fue por el marco de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas, tradicionalmente se ha utilizado Servicios Ecosistémicos para este tipo de análisis. Por ello, la búsqueda bibliográfica con ésta como palabra clave funciona mejor que NCP (Natural Contribution to People), que es marco de trabajo más reciente. La estructura de la tabla generada se muestra en la Fig. 6.

Especies	NCP	Impacto General	Impacto Específico	Impacto Positivo	Impacto Negativo
----------	-----	--------------------	-----------------------	---------------------	---------------------

Figura 6.- Estructura de la tabla de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas.

RESULTADOS

Recogida y homogeneización de datos para la tabla de presencia de especies no indígenas.

En este trabajo se ofrece una compilación de ocurrencias de especies no indígenas (NIS) en las Azores, como resultado del análisis de datos obtenidos tras años de programas de seguimiento. También se incluyeron datos sobre la presencia de estas especies a partir de información publicada.

En total, se trataron 2.982 ocurrencias de NIS. De éstas, 2.576 ocurrencias provienen de los muestreos en Azores realizados entre 1987 y 2022, como parte de diversos proyectos descritos anteriormente en el apartado de Material y Métodos. En dichos eventos se identificaron taxonómicamente 75 especies.

De las especies seleccionadas, los invertebrados son los más representativos (60%) seguidos de las macroalgas (38,9%). Los grupos taxonómicos con mayor presencia son Rhodophyta (32,6%), Chordata (16,9%), Arthropoda (10,1%), Bryozoa (10,1%) y Mollusca (9%) (Fig. 7).

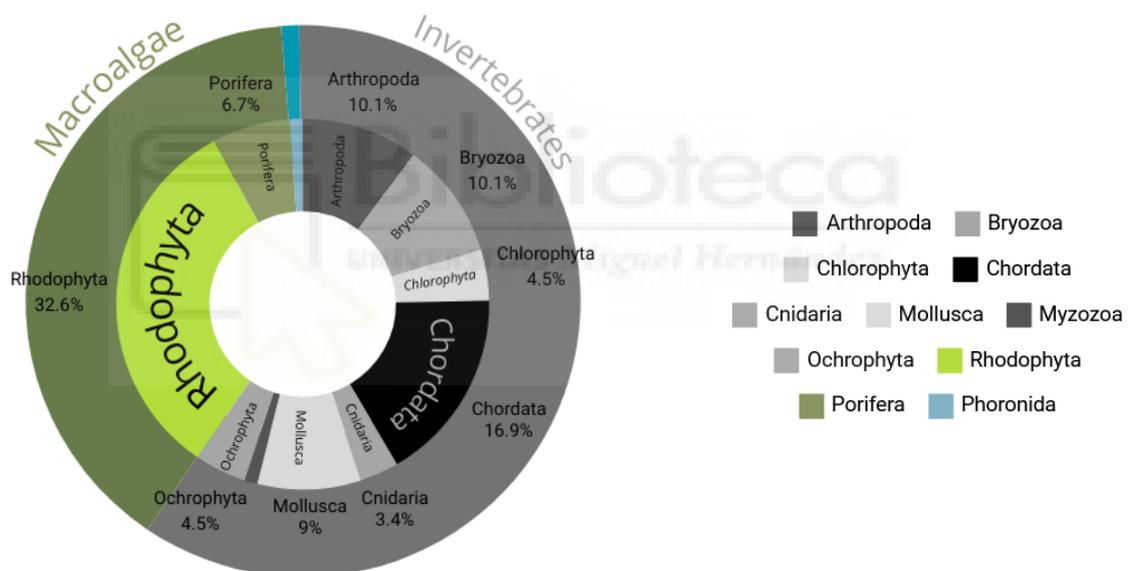


Figura 7. Ocurrencias de NIS por grupo taxonómico: Macroalgas, Invertebrados y peces.

El número de registros y la riqueza de NIS por isla presentan un patrón similar. Para los dos descriptores, São Miguel es la isla de mayor número, mientras que Corvo es la de menor (Fig. 8).

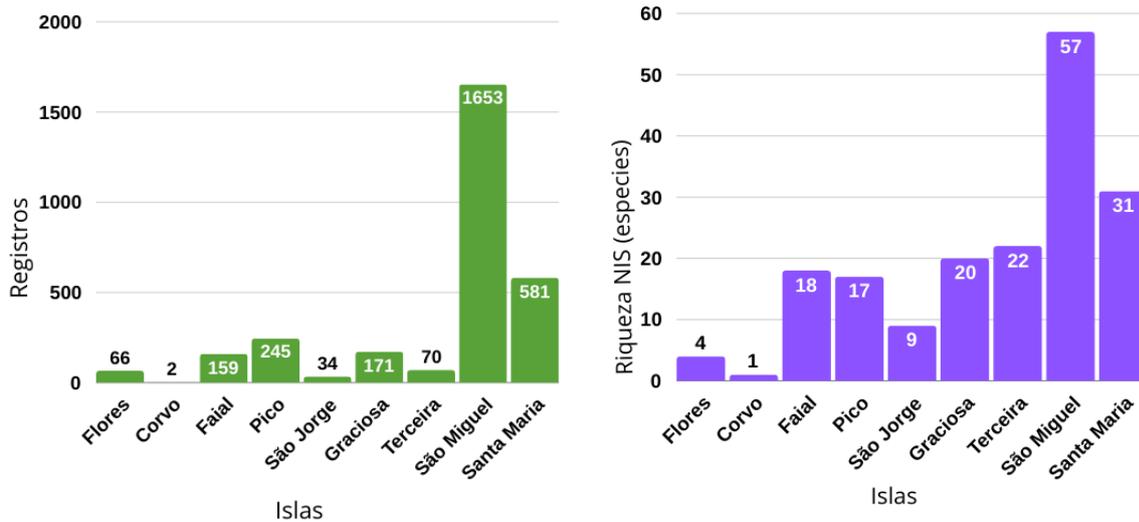


Figura 8. Registros de NIS en las islas Azores (de oeste-este) en verde, y de riqueza de especies en morado.

Análisis para el diagnóstico de la afectación de áreas por especies no indígenas y de los factores relacionados con su proceso de establecimiento.

Análisis estadístico para diagnosticar áreas afectadas

En el Anexo se muestra el número de especies por isla con el que se desarrollan los siguientes análisis (Anexo, Tabla A1).

Riqueza por grupos

Encontramos diferencias significativas entre los registros y los grupos de islas ($\chi^2=1029$, $gl=2$, $p<0.001$) La frecuencia de especies por grupos es mayor en el grupo oriental, seguido por el grupo central y el occidental. las especies y los grupos de islas ($\chi^2=48,5$, $gl=2$, $p<0.001$) y entre (Fig. 9).

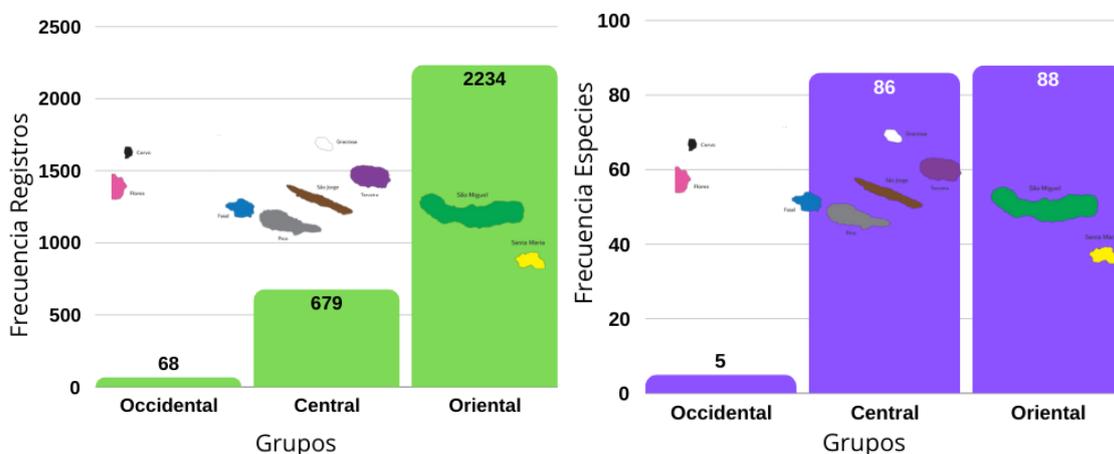


Figura 9. Riqueza de especies NIS en las islas Azores, por registro de presencia (verde) y por especies (morado).

Por tipos de hábitats

El solapamiento de la capa cartográfica de EMODnet y la capa de puntos con registros de NIS dio como resultado 16 tipos de hábitats, que fueron aplicados como campos a la capa de puntos (Fig. 10). En los siguientes análisis se seleccionó la categoría superior, dando como resultado 4 tipos de hábitats (Tabla 3).

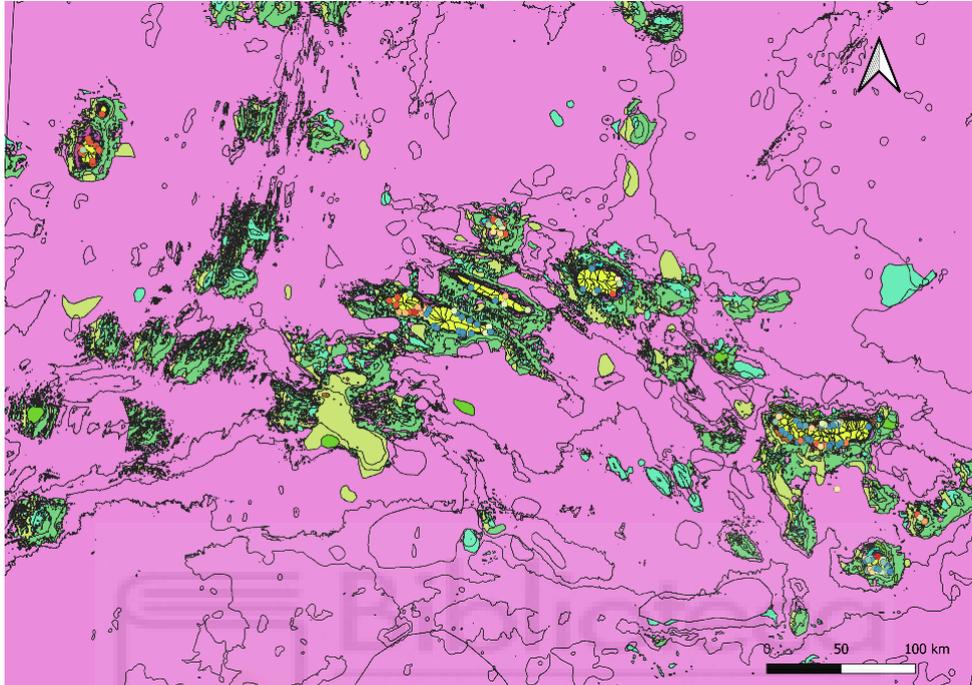


Figura 10.- Tipo de hábitats respecto a la riqueza de especies no indígenas en el archipiélago de Azores.

Tabla 3: Caracterización de los tipos de hábitats.

Código	Descripción
A3	Roca infralitoral y otros sustratos duros
A4	Roca circalitoral
A5	Sedimento grueso circalitoral, arena fina infralitoral o arena fangosa infralitoral
A6	Roca de aguas profundas.

Encontramos diferencias significativas entre hábitats tanto para la frecuencia de registros ($\chi^2=497$, $gl=3$, $p<0.001$) como para la riqueza de especies ($\chi^2=35.2$, $gl=3$, $p<0.001$). En general, encontramos mayores niveles de afección por NIS en la roca infralitoral y otros sustratos duros (A3), mientras que menor en rocas de agua profunda (A6) (Fig. 11).

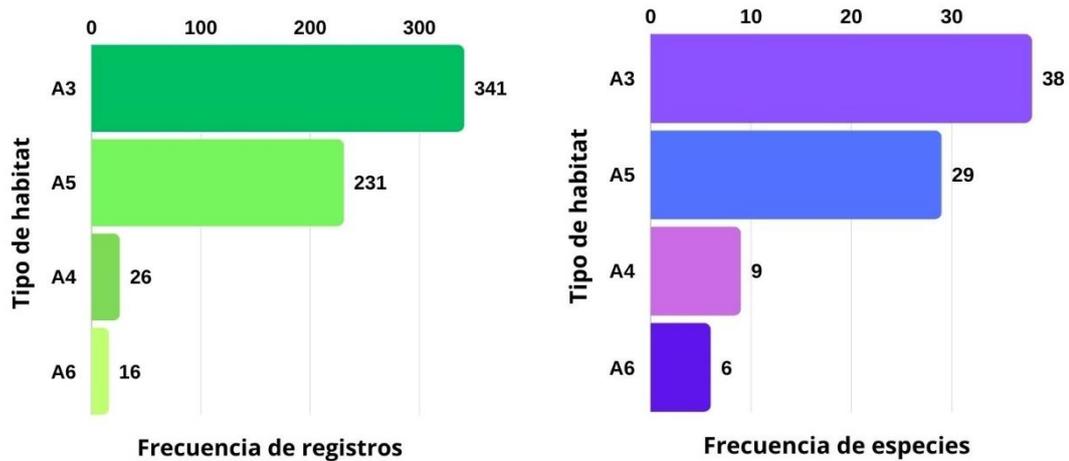


Figura 11: Correlación de riqueza de NIS con tipo de hábitat. Siendo A3: Roca infra litoral y otros sustratos duros (38), A4: Roca circa litoral (4) y A5; Sedimento grueso circa litoral, arena fina infra litoral o arena fangosa infra litoral (29) y A6: Rocas de agua profunda.

Las especies invasoras como *Asparagopsis armata* y *A. taxiformis* se encuentran en múltiples hábitats, lo que sugiere su capacidad de adaptación. Mientras que algunas especies muestran preferencias por hábitats específicos, *Halimeda incrassata* se encuentra principalmente en sedimentos finos infralitorales (Anexo, Tabla A2).

Análisis de factores relacionados con el proceso de establecimiento de NIS.

Los resultados de los modelos generados para diagnosticar los factores relacionados con el proceso de establecimiento de especies de NIS se muestran en la Tabla 3. Todos los análisis univariantes realizados resultan significativos y relacionan las variables explicativas con las explicadas de una manera positiva (Tabla 3). Sin embargo, aunque con un tamaño del efecto muy bajo, el tamaño de la isla y el tráfico marítimo se vuelven negativas en el modelo multivariante para el N° de registros. En el modelo multivariante para la riqueza el tamaño de la isla deja de ser significativo.

Tabla 3: Resultados de los modelos GLM para describir los patrones de presencia de las NIS. S=Riqueza de NIS (Especies NIS). Siendo los valores de significado: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1.

		Coefficiente estimado	Error estándar	P valor	Significa
NºRegistros ~ TamañoIsla		3.951e-03	7.018e-05	<2e-16	***
S ~ TamañoIsla		0.0022677	0.0002802	5.82e-16	***
NºRegistros ~ TraficoMaritimo		0.0009011	0.0000421	<2e-16	***
S ~ TraficoMaritimo		0.0005866	0.0001826	0.00131	**
NºRegistros ~ CapacidadPuerto		4.106e-03	8.008e-05	<2e-16	***
S ~ CapacidadPuerto		0.002371	0.000336	1.72e-12	***
NºRegistros ~ TamañoIsla + TraficoMaritimo + CapacidadPuerto	TamañoIsla	-0.0051178	0.0003477	<2e-16	***
	TraficoMaritimo	-0.0027397	0.0001512	<2e-16	***
	CapacidadPuerto	0.0117879	0.0004892	<2e-16	***
S ~ TamañoIsla + TraficoMaritimo + CapacidadPuerto	TamañoIsla	-0.0017686	0.0011121	0.11176	
	TraficoMaritimo	-0.0009440	0.0004788	0.04866	*
	CapacidadPuerto	0.0050033	0.0015245	0.00103	**

Análisis de impactos y Contribuciones de la Naturaleza a las Personas a través de búsqueda bibliográfica.

Mediante el análisis bibliográfico descrito en el apartado de Materiales y Métodos se determinaron los impactos causados por las NIS encontradas en el archipiélago de las Azores (Anexo, Tabla A3) y las potenciales Contribuciones de la Naturaleza para las Personas de las especies invasoras (Anexo, Tabla A4).

Impactos de especies ya documentadas en Azores

Las especies invasoras marinas representan un desafío significativo para los ecosistemas acuáticos en diversas regiones del mundo. El análisis de la tabla (Anexo, Tabla A1), revela patrones importantes sobre el impacto de estas especies en diferentes localizaciones. La tabla examina diversas NIS y diez especies invasoras principales, incluyendo *Amathia verticillata*, *Rugulopteryx okamurae*, y *Ficopomatus enigmaticus*, entre otras. Estas especies se han observado en una variedad de ubicaciones, desde las Azores y el Mediterráneo hasta los océanos Atlántico, Pacífico e Índico.

Un resultado relevante es que aproximadamente el 90% de los impactos registrados son negativos. (Fig. 12). Estos efectos adversos incluyen la alteración de la estructura y composición de las comunidades nativas, la reducción de la biodiversidad local, el desplazamiento de especies autóctonas, la modificación de hábitats bentónicos y la alteración de los ciclos de nutrientes.

Algunas especies, particularmente *Ficopomatus enigmaticus*, muestran una mezcla de efectos positivos y negativos. Por ejemplo, mientras que esta especie puede obstruir la navegación, también puede mejorar la calidad del agua a través de la filtración (Bruschetti 2019; Piccardo et al., 2024). Este caso subraya la complejidad de las interacciones ecológicas en los sistemas invadidos y la necesidad de la gestión de especies invasoras.

Entre las especies analizadas, *Amathia verticillata* y *Branchioma luctuosum* se destacan por tener exclusivamente impactos negativos registrados, mientras que *Rugulopteryx okamurae* muestra principalmente efectos negativos con algunos positivos ocasionales (Laamraoui et al., 2024).



Figura 12.- Impactos de NIS al ecosistema clasificado.

Análisis de especies con potencial invasor en el marco de las Contribuciones de la Naturaleza a las Personas

El análisis de las contribuciones de la naturaleza a las personas referentes a cinco especies marinas invasoras (*Amathia verticillata*, *Rugulopteryx okamurae*, *Ficopomatus enigmaticus*, *Branchioma luctuosum* y *Halimeda incrassata*) revela una compleja interacción de impactos positivos y negativos en los ecosistemas marinos. La mayoría de las contribuciones de la naturaleza a las personas identificados se clasifican como servicios de regulación, abarcando la creación y mantenimiento de hábitats, la regulación de organismos perjudiciales, la formación y protección de suelos, la regulación del clima y la calidad del agua dulce. También se mencionan algunos servicios materiales, aunque en menor medida (Fig. 13)

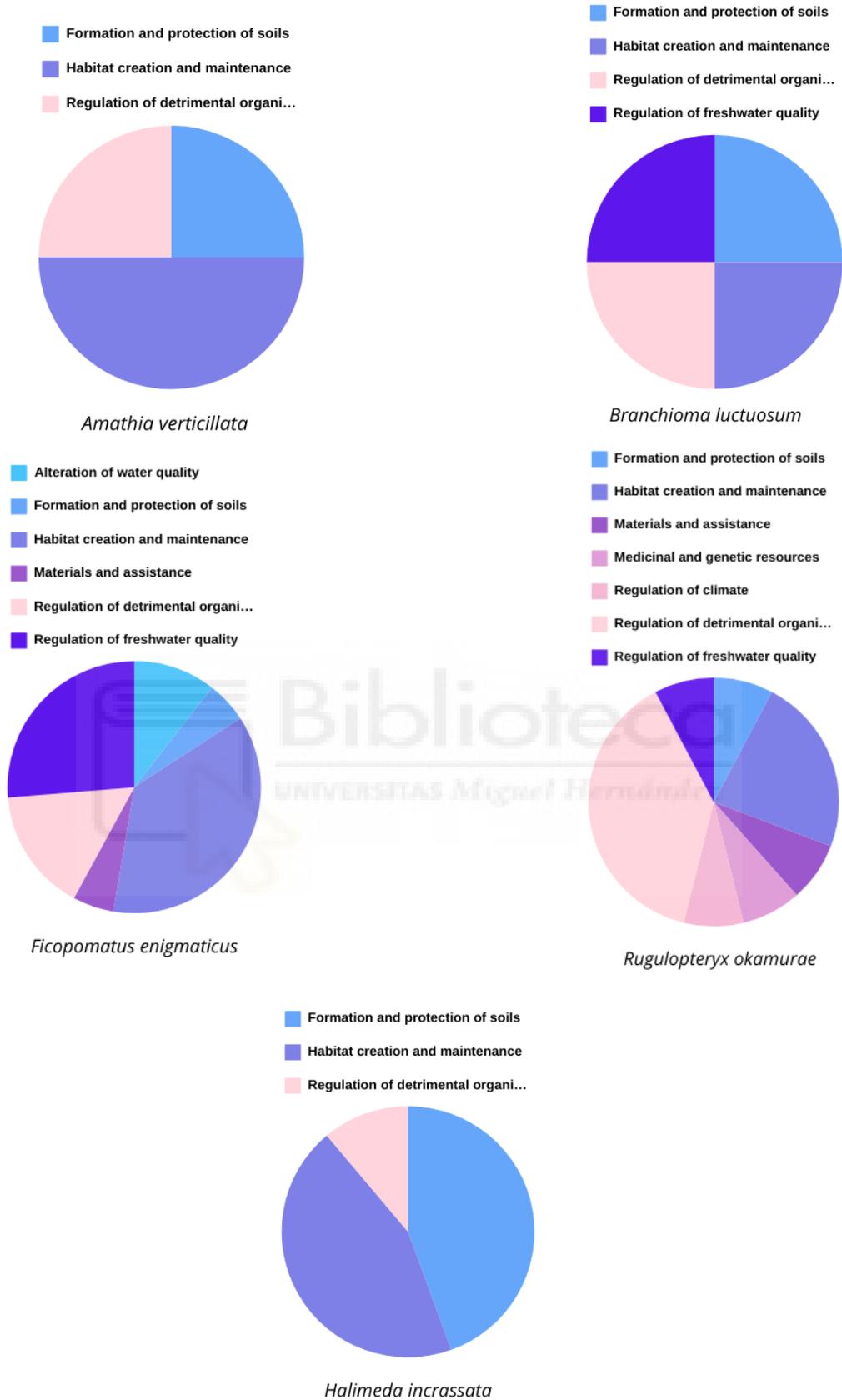


Figura 13.- Ocurrencias de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas más comunes en las especies: *Amathia verticillata*, *Rugulopteryx okamurae*, *Ficopomatus enigmaticus*, *Branchioma luctuosum* y *Halimeda incrassata*.

Amathia verticillata muestra un equilibrio entre impactos positivos y negativos. Aumenta la complejidad y diversidad del hábitat y proporciona zonas de cría para algunas especies de peces. Sin embargo, también desplaza especies bentónicas nativas y afecta a la estabilidad del sedimento y el ciclo de nutrientes (Marchini et al. 2015).

Rugulopteryx okamurae presenta una gama más amplia de impactos, principalmente negativos. Aunque proporciona hábitat y alimento para algunos organismos marinos y contribuye al secuestro de carbono, también causa pérdida de biodiversidad, desplaza especies nativas, altera la estructura de la comunidad y los procesos del ecosistema y puede tener impactos económicos negativos (Tsirintanis et al., 2022). *Ficopomatus enigmaticus* muestra una mezcla más equilibrada de impactos positivos y negativos. Crea hábitats complejos, mejora la biodiversidad local, estabiliza sedimentos y mejora la calidad del agua (Piccardo et al., 2024). Sin embargo, también modifica los hábitats de manera que puede alterar las comunidades nativas, afecta los patrones de flujo y sedimentación, y puede causar problemas de incrustaciones en estructuras sumergidas (Bruschetti 2019).

Branchiomma luctuosum tiene impactos tanto positivos como negativos. Proporciona hábitat para organismos pequeños, mejora la biodiversidad local y contribuye a la estabilización de sedimentos. No obstante, también altera las propiedades físicas y químicas del sedimento y el agua, y puede desplazar especies bentónicas nativas (Galil et al., 2017).

Halimeda incrassata parece tener principalmente impactos positivos, siendo una fuente importante de sedimentación de carbonato de calcio (Macêdo Carneiro et al., 2016). Esta alga proporciona hábitat y recursos para organismos marinos, y mejora la disponibilidad de alimentos. Sin embargo, también puede reducir la disponibilidad de luz y competir con algas nativas (Fukunaga et al., 2008).

En general, estas especies invasoras demuestran una capacidad significativa para modificar y crear hábitats, lo que puede tener efectos tanto beneficiosos como perjudiciales en los ecosistemas locales. Muchas de ellas contribuyen a la estabilización de sedimentos y al ciclo de nutrientes, pero también pueden alterar las comunidades nativas y las propiedades físico-químicas del entorno.

Este análisis subraya la complejidad de los impactos de las especies invasoras en los ecosistemas marinos. Mientras que tradicionalmente estas especies han sido consideradas principalmente como amenazas, los resultados indican que también pueden proporcionar servicios ecosistémicos significativos.

DISCUSIÓN

Patrones de distribución e impactos de especies no indígenas en las Azores

Este estudio proporciona una visión actualizada sobre la presencia y los impactos de las especies marinas no indígenas (NIS) en el archipiélago de las Azores. Gracias al análisis realizado, los resultados revelan patrones significativos en la distribución y los efectos de estas especies en los ecosistemas insulares.

El análisis revela diferencias significativas en registros de observaciones entre grupos de islas y tipos de hábitats. Los hábitats de roca infralitoral (A3) presentan mayor riqueza y observaciones en comparación con los hábitats formados por rocas de aguas profundas (A6).

Los modelos univariantes nos demuestran que la presencia de registros de NIS es mayor tanto en las islas más grandes, como en las de mayor capacidad portuaria o alto tráfico marítimo (MacArthur y Wilson, 1967).

Además, se observa una mayor concentración de NIS en áreas de alta actividad portuaria y tráfico marítimo, es decir, el grupo oriental de islas que destaca por su alto número de observaciones, comparando la riqueza de especies a la del grupo Central, mientras que el grupo Occidental muestra una representación notablemente baja en ambos aspectos. Este patrón coincide con estudios previos que identifican el tráfico marítimo como el principal vector de introducción de especies no autóctonas en sistemas insulares (Parretti et al., 2020; Costa et al., 2021). Sin embargo, las relaciones dejan de ser fácilmente interpretables en el modelo multivariante. Esto sugiere relaciones complejas entre diversos factores que deben ser abordadas en mayor profundidad a la que se emplea aquí.

Desde una perspectiva socioeconómica, la presencia de NIS está impactando sectores cruciales para la economía local, por ejemplo, *Rugulopterix Okumerae* cuando permanece en las playas, alterando la visibilidad durante el buceo, afectando a la biodiversidad existente y al sector de la pesca (Laamraoui et al., 2024). Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar medidas de control más estrictas en los puertos y marinas del archipiélago.

La presencia de NIS en las Azores muestra una distribución no uniforme de las NIS, tanto geográfica como ecológicamente, esto tiene importantes implicaciones para la gestión y conservación y deja en claro la importancia de la base de datos, ya que sin ella no se pueden prever de forma realista los esfuerzos de monitoreo necesarios para diagnosticar la diversidad presente, evaluar el estado de conservación de las especies e identificar y cuantificar las amenazas existentes y emergentes (Latombe et al., 2017). La evidencia sobre los impactos de las NIS en las Azores sugiere que, aunque actualmente no se registren efectos alarmantes, es crucial actuar de manera preventiva (Borges et al., 2010).

La experiencia en otras regiones demuestra que estos impactos pueden desarrollarse rápida e intensamente (Pyšek et al., 2010; Vilà et al., 2011), por lo que es necesario implementar medidas proactivas para proteger la biodiversidad única del archipiélago (Hulme, 2009). Esta acción anticipada es especialmente importante considerando la vulnerabilidad de los ecosistemas insulares de las Azores a las invasiones biológicas (Kueffer et al., 2010).

Solo a través de una vigilancia sistemática y a largo plazo podremos detectar tempranamente la llegada de nuevas especies potencialmente invasoras (Reaser et al., 2020), monitorear los cambios en las poblaciones de especies nativas y endémicas (Rigal et al., 2018), evaluar la efectividad de las medidas de conservación y control implementadas (Simberloff et al., 2013) y generar datos científicos robustos que informen las políticas de gestión y conservación (Kueffer et al., 2013).

El seguimiento y la recopilación de información sobre especies no indígenas en islas.

La implementación progresiva de políticas relacionadas con NIS ha de soportarse por un mejor conocimiento de sus distribuciones e impactos (Tsiamis et al., 2019). En este contexto, los inventarios actualizados y validados de NIS son fundamentales para la aplicación de la Directiva Marco de la Estrategia Marina Europea (MSFD). Esta directiva subraya la importancia de mantener un equilibrio ecológico frente a la presencia de NIS y requiere que los Estados miembros establezcan y apliquen programas de seguimiento coordinados para evaluar permanentemente el estado medioambiental de sus aguas marinas.

Muchos de los esfuerzos de conservación que se realizan en islas son programas de erradicación, usando bases de datos para el seguimiento (*Database of Island Invasive Species Eradications*, DIISE). También podemos considerar como esfuerzos de conservación el seguimiento de la distribución espacial de la pérdida de biodiversidad (Biodiversity Habitat Index), el establecimiento de tanto ecosistemas protegidos (IUCN Red List of Ecosystems), como especies protegidas (IUCN Red List of Threatened Species), y la monitorización de las mismas (World Conservation Monitoring Centre).

Todas estas estrategias, basadas en información científica, consideran o desarrollan de un modo u otro, bases de datos con información científica. Algunas de estas bases de datos como iNaturalist o GBIF consisten en la compilación masiva y en abierto de registros de presencia de especies, validados por expertos.

Al hacer que estos datos sean libremente accesibles, se potencia la capacidad de investigación interdisciplinaria. Además, permiten la participación ciudadana en la recopilación de información, fortaleciendo así la conexión entre la ciencia y la sociedad. Para contribuir a esta iniciativa, la base de datos creada en este trabajo será volcada en GBIF con el objetivo de favorecer la ciencia abierta.

Metodología de Contribuciones de la naturaleza a las personas.

Las especies invasoras seleccionadas tienen el potencial de alterar significativamente los hábitats, disrumpir las redes tróficas y causar impactos económicos negativos en los ecosistemas invadidos (Bellard et al., 2016). Su historial previo de invasiones exitosas en otros lugares es un fuerte indicador de su potencial invasor en nuevas áreas (Seebens et al., 2017). Esta selección estratégica facilita la priorización de esfuerzos de manejo y conservación, centrándose en las especies que representan los mayores riesgos para la biodiversidad nativa y los servicios ecosistémicos (Pejchar & Mooney, 2009).

El marco de trabajo de Contribuciones Naturales a las Personas nos da un análisis detallado de los impactos de las especies invasoras, donde podemos observar una clara distinción entre impactos negativos y positivos que permite una evaluación realista y equilibrada de los efectos de cada especie. Esto es particularmente relevante en el contexto de las especies invasoras, donde los impactos pueden ser complejos y multifacéticos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta metodología es relativamente nueva, y como consecuencia, la búsqueda bibliográfica con este término no es tan eficiente como la búsqueda de servicios ecosistémicos, que es un marco de trabajo que, aunque presenta limitaciones como metodología, ha sido usada durante más tiempo y por lo tanto nos da más resultados bibliográficos.

Por ello, en este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica en torno a los *Ecosistem Services*, para aprovechar los datos recopilados de estudios que tradicionalmente han utilizado esta metodología, aunque posteriormente no se haya utilizado por considerarse incompleta para el estudio de especies invasoras, ya que no tiene en cuenta los aspectos negativos que pueden tener estas en el ecosistema.

Efectividad de las medidas de gestión actuales

La evaluación de las estrategias de manejo existentes sugiere que, si bien se han realizado esfuerzos significativos en la monitorización y control de NIS, aún existen brechas importantes en la gestión. La falta de una legislación específica sobre la gestión de la bioincrustación en los cascos y las aguas de lastre de las embarcaciones representa una vulnerabilidad crítica, como ya señalaron Costa et al. (2021).

Implicaciones para la conservación en las Azores.

Los resultados de este estudio tienen implicaciones directas para la conservación de la biodiversidad única de las Azores. Es crucial implementar un sistema de alerta temprana tanto para la detección de nuevas NIS, como para la proliferación de las ya existentes, especialmente en áreas de alto riesgo como puertos y marinas, dada la importancia de mantener inventarios actualizados y validados por expertos de NIS, como se establece en la Directiva Marco de la Estrategia Marina Europea (Tsiamis et al., 2021).

Se deben desarrollar planes de manejo específicos para las especies invasoras más problemáticas, ya que un simple RAS (Rapid Assessment Survey) no permite registrar todas las especies. Es necesario considerar tener otros protocolos y herramientas de actuación (ARMS, Placas...) para obtener un seguimiento real de la situación, priorizando aquellas que amenazan directamente a las especies endémicas y los hábitats críticos y contando con la colaboración entre instituciones científicas, autoridades locales y comunidades para mejorar la efectividad de las medidas de control y erradicación. La educación ambiental y la participación ciudadana deben ser componentes clave en las estrategias de conservación, fomentando una mayor conciencia sobre los impactos de las NIS.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. La falta de datos históricos detallados sobre la introducción de algunas especies dificulta la comprensión completa de las dinámicas de invasión. Además, la variabilidad en los esfuerzos de muestreo entre islas podría influir en los patrones de distribución observados, siendo mayor en São Miguel, Faial, Flores y Terceira, por ello futuras investigaciones deberían enfocarse en:

1. Establecer proyectos/protocolos de monitorización continuada.
2. Evaluar los impactos a largo plazo de las NIS en los ecosistemas insulares.
3. Desarrollar modelos predictivos para anticipar futuras invasiones bajo escenarios de cambio climático.
4. Investigar las interacciones entre múltiples especies invasoras y sus efectos sinérgicos en los ecosistemas nativos.
5. Analizar la efectividad económica de diferentes estrategias de manejo y control de NIS.

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES FUTURAS

La identificación de presencia de nuevas NIS es una parte imprescindible para la creación de modelos. Para tener una visión de los datos que tenemos actualmente de estas especies se ha seleccionado una base de datos de biodiversidad de acceso libre, “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF), la comparación de estos datos con las nuevas contribuciones da como resultado la presencia de un total de 26 especies sin presencia actual en la plataforma y 49 con presencia.

Como se demuestra con los resultados de los análisis estadísticos de la base de datos, es muy importante monitorizar la presencia de NIS y los impactos de los mismos al ecosistema. La mayoría de las NIS pueden ser inofensivas o tener impactos menores en el medio ambiente, sin embargo, es difícil predecir los impactos de las nuevas especies establecidas y se recomiendan enfoques de precaución, ya que algunas de estas especies podrían invadir la región y afectar gravemente a la biodiversidad local y sus áreas relacionadas relativamente rápido (Simberloff et al., 2013; Blackburn et al., 2014). Es un hecho bien conocido que la erradicación y gestión de especies invasoras rara vez es posible y sólo se ha logrado cuando las especies se detectaron de forma temprana y la gestión respondió rápidamente (Pluess et al., 2012; Jones et al., 2016).

La continua actualización de esta información es importante para evaluar el estado de los ecosistemas ambientales en todo el archipiélago de las Azores, para alimentar modelos estadísticos predictivos y para informar a los responsables de tomar decisiones sobre la necesidad y priorización de medidas de mitigación/conservación y prevención de invasiones marinas (Bellard et al., 2017)

En conclusión, este estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas en la gestión de NIS en las Azores. La implementación de medidas basadas en estos hallazgos será imprescindible para preservar la biodiversidad única de este archipiélago y mantener la integridad de sus ecosistemas insulares frente a la creciente amenaza de las invasiones biológicas.

BIBLIOGRAFÍA

Abecasis, R. C., Afonso, P., Colaço, A., Longnecker, N., Clifton, J., Schmidt, L., & Santos, R. S. (2015). Marine conservation in the Azores: evaluating marine protected area development in a remote island context. *Frontiers in Marine Science*, 2, 104.

Amorim, P., Peran, A. D., Pham, C. K., Juliano, M., Cardigos, F., Tempera, F., & Morato, T. (2017). Overview of the ocean climatology and its variability in the Azores region of the North Atlantic including environmental characteristics at the seabed. *Frontiers in Marine Science*, 4, 56.

Astan, D. M., Traveset, A., Morales, C. L., & Nogales, M. (2013). Mutualistic interactions between alien and native plants in the Galápagos Islands. *Biological Invasions*, 15(4), 831-844.

Bax, N., Williamson, A., Agüero, M., Gonzalez, E., & Geeves, W. (2003). Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, 27(4), 313-323.

Bellard, C., Cassey, P., & Blackburn, T. M. (2016). Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 12(2), 20150623.

Blackburn, T. M., Cassey, P., Duncan, R. P., Evans, K. L., & Gaston, K. J. (2004). Avian extinction and mammalian introductions on oceanic islands. *Science*, 305(5692), 1955-1958.

Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., ... & Richardson, D. M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333-339.

Blumstein, D. T., & Daniel, J. C. (2005). The loss of anti-predator behaviour following isolation on islands. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1573), 1663-1668.

Borges, P. A., Lobo, J. M., de Azevedo, E. B., Gaspar, C. S., Melo, C., & Nunes, L. V. (2005). Invasibility and species richness of island endemic arthropods: a general model of endemic vs. exotic species. *Journal of Biogeography*, 33(1), 169-187.

Borges, P. A., Bried, J., Costa, A. C., Cunha, R. T. D., Gabriel, R., Gonçalves, V., ... & Boieiro, M. (2010). Description of the terrestrial and marine biodiversity of the Azores: A list of the terrestrial and marine biota from the Azores.

Borges, P.A.V., Gabriel, R., Arroiz, A.M., Costa A.C.; Cunha R.T.; Silva L.; ... & Cardoso P.(2023). The Azores Biodiversity Portal: An internet database for regional biodiversity outreach. *Systematics and Biodiversity*, 8(4), 423-434.

Bruschetti, M. (2019). Role of reef-building, ecosystem engineering polychaetes in shallow water ecosystems. *Diversity*, 11(9), 168.

Carine, M.A., & Schaefer H.(2009). The Azores diversity enigma: why are there so few Azorean endemic flowering plants and why are they so widespread?. *Journal of Biogeography*, 37(1), 77-89.

Castro N.; Félix P.M.; Gestoso I.; Costa J.L.; & Canning-Clode J.(2024). Management of non-indigenous species in Macaronesia: Misconceptions and alerts to decision-makers. *Marine Pollution Bulletin*, 204, 116506.

Costa A.C.; Monteiro S.; Vaz-Pinto F.; Chainho P.; Parente M.I.(2021). Marine non-indigenous species in the Azores: A review. *Regional Studies in Marine Science*, 47(101921).

Cracraft J.(1994). Species diversity and biogeography in the Americas: patterns and processes in the

tropics. In Biodiversity (pp .55-83). National Academy Press.

Dudgeon D.; Arthington A.H.; Gessner M.O.; Kawabata Z.I.; Knowler D.J.; Lévêque C.; Sullivan C.A.(2006). Freshwater biodiversity: importance , threats , status and conservation challenges. *Biological Reviews*,81(2),163-182.

Essl F.; Bacher S.; Genovesi P.; Hulme P.E.; Jeschke J.M; Katsanevakis S.; ... & Richardson D.M.(2018). Which taxa are alien? Criteria , applications , and uncertainties. *BioScience*,68(7),496-509.

European Union.(2008). Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Union*,164 ,19-40.

European Union.(2010). Commission Decision of September 1st ,2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters (notified under document C(2010)5956)(2010/477/EU). *Official Journal of the European Union*,232 ,14-24.

European Union.(2017). Commission Decision (EU) 2017/848 of May17th ,2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment ,and repealing Decision 2010/477/EU. *Official Journal of the European Union*,125 ,43-74.

Faria J; Prestes A.C; Moreu I; Cacabelos E; Martins G.M.(2022). Dramatic changes in the structure of shallow-water marine benthic communities following the invasion by *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales ,Ochrophyta) in Azores (NE Atlantic). *Marine Pollution Bulletin*,175 ,113358.

Fukunaga, A. (2008). Invertebrate community associated with the macroalga *Halimeda kanaloana* meadow in Maui, Hawaii. *International review of hydrobiology*, 93(3), 328-341.

Galil, B., Marchini, A., Occhipinti-Ambrogi, A., & Ojaveer, H. (2017). The enlargement of the Suez Canal—Erythraean introductions and management challenges. *Management of Biological Invasions*, 8(2), 141-152.

Guerra-García J.M; Ruiz-Velasco S; Navarro-Barranco C; Moreira J; Angulo G; García-Domínguez R; ... & Ros M.(2024). Facilitation of macrofaunal assemblages in marinas by the habitat-forming invader *Amathia verticillata* (Bryozoa: Gymnolaemata) across a spatiotemporal scale. *Marine Environmental Research*,193 ,106256.

Hulme P.E; Pyšek P; Nentwig W; Vilà M.(2009). Will threat of biological invasions unite the European Union? *Science*,324(5923),40-41.

Kier G; Kreft H; Lee T.M; Jetz W; Ibisch P.L; Nowicki C; Barthlott W.(2009). A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*,106(23),9322-9327.

Kreft H; Jetz W; Mutke J; Kier G; Barthlott W.(2008). Global diversity of island floras from a macroecological perspective. *Ecology Letters*,11(2),116-127.

Kueffer C; Daehler C.C; Torres-Santana C.W; Lavergne C; Meyer J.Y; Otto R;... Silva L.(2010). A global comparison of plant invasions on oceanic islands. *Perspectives in Plant Ecology ,Evolution and Systematics*,12(2),145-161.

Kueffer C; Pyšek P; Richardson D.M.(2013). Integrative invasion science: model systems ,multi-site studies ,focused meta-analysis and invasion syndromes. *New Phytologist*,200(3),615-633.

- Kumschick S; Gaertner M; Vilà M; Essl F; Jeschke J.M; Pyšek P; Winter M.(2015). Ecological impacts of alien species: quantification ,scope ,caveats ,and recommendations.BioScience,65(1),55-63.
- Latombe, G., Pyšek, P., Jeschke, J. M., Blackburn, T. M., Bacher, S., Capinha, C., ... & McGeoch, M. A. (2017). A vision for global monitoring of biological invasions. *Biological Conservation*, 213, 295-308.
- Laamraoui, M. R., Mghili, B., Roca, M., Chaieb, O., Ostalé-Valriberas, E., Martín-Zorrillae, A., ... & Aarab, S. (2024). Rapid invasion and expansion of the invasive macroalgae *Rugulopteryx okamurae* in the Mediterranean and Atlantic: A 10-year review. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117194.
- Latombe G; Pyšek P; Jeschke J.M; Blackburn T.M; Bacher S; Capinha C; ... McGeoch M.A.(2017). A vision for global monitoring of biological invasions.Biological Conservation,213 ,295-308.
- de Macêdo Carneiro, P. B., & de Morais, J. O. (2016). Carbonate sediment production in the equatorial continental shelf of South America: Quantifying *Halimeda incrassata* (Chlorophyta) contributions. *Journal of South American Earth Sciences*, 72, 1-6.
- MacArthur R.H; Wilson E.O.(1967). The theory of island biogeography.Princeton University Press.
- Mace G.M; Norris K; Fitter A.H.(2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship.Trends in Ecology & Evolution,27(1),19–26.
- Mack R.N.; Simberloff D.; Mark Lonsdale W.; Evans H.; Clout M.; & Bazzaz F.A.(2000). Biotic invasions: causes ,epidemiology ,global consequences ,and control.Ecological Applications,10(3),689–710.
- Molnar J.L ; Gamboa R.L ; Revenga C ; Spalding M.D.(2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity.Frontiers in Ecology and the Environment,6(9),485–492.
- Morton B.; de Frias Martins A.M.(2019). The Azores.In World Seas: an Environmental Evaluation (pp .501–530). Academic Press.
- Marchini A, Ferrario J, Minchin D (2015) Marinas may act as hubs for the spread of the pseudo-indigenous bryozoan *Amathia verticillata* (Delle Chiaje, 1822) and its associates. *Sci Mar* 73:355–365
- Neto A.I.(2000a). Ecology and dynamics of two intertidal algal communities on the littoral of São Miguel (Azores).Hydrobiologia,432(1),135–147.
- Neto A.I.(2000b). Observations on the biology and ecology of selected macroalgae from the littoral of São Miguel (Azores).Botanica Marina,43(5),483–498.
- Ostrom E.(2009). A general framework for analyzing sustainability of social–ecological systems.Science,325(5939),419–422.
- Parretti P.; Canning-Clode J.; Ferrario J.; Marchini A.; Botelho A.Z.; Ramalhosa P.; & Costa A.C.(2020). Free rides to diving sites: The risk of marine non-indigenous species dispersal.*Ocean & Coastal Management,*190,105158.
- Piccardo, M., Vellani, V., Anselmi, S., Bentivoglio, T., Provenza, F., Renzi, M., & Bevilacqua, S. (2024). The First Evidence of the Water Bioremediation Potential of *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel 1923): From Threat to Resource?. *Water*, 16(3), 368.
- Roca, M., Dunbar, M. B., Román, A., Caballero, I., Zoffoli, M. L., Gernez, P., & Navarro, G. (2022).

Monitoring the marine invasive alien species *Rugulopteryx okamurae* using unmanned aerial vehicles and satellites. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1004012.

Pyšek P ; Richardson D.M.(2010). Invasive species ,environmental change and management ,and health.*Annual Review of Environment and Resources,*35,25–55.

Pyšek P ; Hulme P.E ; Simberloff D ; Bacher S ; Blackburn T.M ; Carlton J.T ; ... Richardson D.M .(2020) . Scientists' warning on invasive alien species . *Biological Reviews* ,95(6) ,1511 -1534 .

Rigal F ; Cardoso P ; Lobo J.M ; Triantis K.A ; Whittaker R.J ; Amorim I.R ; & Borges P.A .(2018) . Functional traits of indigenous and exotic ground-dwelling arthropods show contrasting responses to land-use change in an oceanic island,*Terceira,*Azores.*Diversity and Distributions*,*24(1),36–47

Russell J.C ; Sataruddin N.S ; Heard A.D .(2014) . Over-invasion by functionally equivalent invasive species . *Ecology* ,95(8) ,2268 -2276 .

Reaser J.K ; Burgiel S.W ; Kirkey J ; Brantley K.A ; Veatch S.D ; Burgos-Rodríguez J .(2020) . The early detection of and rapid response (EDRR) to invasive species : a conceptual framework and federal capacities assessment . *Biological Invasions* ,22(1) ,1 -19 .

Richardson A.M .(1992) . Altitudinal distribution of native and alien landhoppers (Amphipoda : Talitridae) in the Ko'olau Range,O'ahu,Hawaiian Islands.*Journal of natural history*,*26(2) ,339 -352 .

Rockström J ; Steffen W ; Noone K ; Persson Å ; Chapin F.S ; Lambin E.F ; ... Foley J.A .(2009) . A safe operating space for humanity .*Nature* ,461(7263) ,472 -475 .

Santos R.S ; Hawkins S ; Monteiro L.R ; Alves M ; Isidro E.J .(1995) . Marine research resources and conservation in the Azores .*Aquatic Conservation:marine and freshwater ecosystems*,*5(4) ,311 -354 .

Seebens H ; Blackburn T.M ; Dyer E.E ; Genovesi P ; Hulme P.E ; Jeschke J.M ; ... Essl F .(2017) . No saturation in the accumulation of alien species worldwide .*Nature Communications* ,8(1) ,1 -9 .

Silva M.A ; Prieto R ; Cascão I ; Seabra M.I ; Machete M ; Baumgartner M.F ; Santos R.S .(2014) . Spatial and temporal distribution of cetaceans in mid-Atlantic waters around Azores .*Marine Biology Research* ,10(2) ,123 -137 .

Silva L .2001.Plantas invasoras no Arquipélago dos Açores : caracterização geral e estudo de um caso – *Clethra arborea* Aiton.PhD thesis,*Universidade dos Açores,*Ponta Delgada,*514 pp .

Simberloff D ., Martin J.L ., Genovesi P ., Maris V ., Wardle D.A ., Aronson J ., ... & Vilà M . (2013) Impacts of biological invasions : what's what and the way forward .*Trends in ecology & evolution*28 (1):58–66..

R Core Team (2021). R: A Language and environment for statistical computing.Version4 .1 [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org> (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022–01–01) .

Parlamento Europeo. (2020). Las especies invasoras en las Azores: un desafío para la biodiversidad.*

Tershy, B. R., Shen, K. W., Newton, K. M., Holmes, N. D., & Croll, D. A. (2015). The importance of islands for the protection of biological and linguistic diversity. *Bioscience*, 65(6), 592-597.

Tobin P.C . (2018). Managing invasive species .F1000Research7 .

Tsiamis, K., Palialexis, A., Connor, D., Antoniadis, S., Bartilotti, C., Bartolo, A., ... & Žuljević, A.

(2021). Marine Strategy Framework Directive-Descriptor 2, Non-Indigenous Species, Delivering solid recommendations for setting threshold values for non-indigenous species pressure on European seas.

Tsirintanis, K., Azzurro, E., Crocetta, F., Dimiza, M., Froggia, C., Gerovasileiou, V., Langeneck, J., Mancinelli, G., Rosso, A., Stern, N., Triantaphyllou, M., Tsiamis, K., Turon, X., Verlaque, M., Zenetos, A., Katsanevakis, S., 2022. Bioinvasion impacts on biodiversity, ecosystem services, and human health in the Mediterranean Sea. *Aquat. Inv* 17 (3), 308–352.

The jamovi project (2022) jamovi .Version2 .3 [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org> .

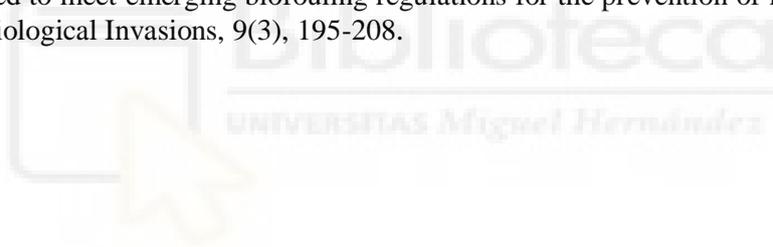
UNEP-WCMC (Cambridge UK) World Database on Protected Areas User Manual 1 .UNEP-WCMC: Cambridge UK .

Vilà M et al.(2011) Ecological impacts invasive alien plants: a meta-analysis their effects species communities ecosystems .*Ecology Letters*14 (7):702–708.

Vitousek,P.M ., Mooney H.A ., Lubchenco,J ., & Melillo,J.M..(1997) Human domination of Earth's ecosystems .*Science*277 (5325):494–499 .

Wilson, E. O., & MacArthur, R. H. (2016). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press.

Zabin, C., Davidson, I., Holzer, K., Smith, G., Ashton, G., Tamburri, M., & Ruiz, G. (2018). How will vessels be inspected to meet emerging biofouling regulations for the prevention of marine invasions?. *Management of Biological Invasions*, 9(3), 195-208.



ANEXO

Tabla A1: Analisis de NIS por islas

Especies	Corvo	Faial	Flores	Graciosa	Pico	Santa Maria	São Jorge	São Miguel	Terceira	Grand Total
<i>Acrothamnion preissii</i>						37				37
<i>Alexandrium minutum</i>							1			1
<i>Amathia verticillata</i>		1			1	40		157	3	202
<i>Amphibalanus amphitrite</i>		1								1
<i>Amphibalanus eburneus</i>		1								1
<i>Antithamnion densum</i>					3					3
<i>Antithamnion diminuatum</i>		8		11	10		3	5		37
<i>Antithamnion hubbsii</i>		2						7		9
<i>Antithamnionella ternifolia</i>								3		3
<i>Aplus dorbignyi</i>		2						13		15
<i>Asparagopsis armata</i>	2	23	45	65	62	24	11	88	15	335
<i>Asparagopsis taxiformis</i>		9	19	18	12	61	1	133		253
<i>Balanus trigonus</i>		3		1		1	2		3	10
<i>Bonnemaisonia hamifera</i>		2	2	3		3			3	13
<i>Botryllus schlosseri</i>		4		1		6		30	1	42
<i>Branchiomma luctuosum</i>						9		1	1	11
<i>Bugula neritina</i>		8		7		31		146	5	197
<i>Bugulina flabellata</i>								5		5
<i>Bugulina simplex</i>						2		9		11
<i>Bugulina stolonifera</i>								1	2	3
<i>Cacospongia mollior</i>								7		7
<i>Canistrocarpus cervicornis</i>						5		2		7
<i>Caprella scaura</i>						6		22		28
<i>Caulerpa prolifera</i>								1		1
<i>Caulerpa webbiana</i>		48			1					49
<i>Ceramium cingulatum</i>					4		3	2	3	12
<i>Ciona intestinalis</i>								3		3
<i>Clavelina lepadiformis</i>				2		14		83	4	103
<i>Clavelina oblonga</i>		5			1					6
<i>Codium fragile</i>				6		12		16		34
<i>Corynomorpha prismatica</i>								2		2
<i>Desmacella meliorata</i>		1								1
<i>Diplodus vulgaris</i>		8		17		14		49		88
<i>Distaplia corolla</i>		21			1	29		155	1	207
<i>Ectopleura crocea</i>								2		2
<i>Erichthonius didymus</i>								1		1
<i>Ficopomatus enigmaticus</i>									2	2
<i>Grallatoria reptans</i>								3		3
<i>Grateloupia filicina</i>							1	3		4
<i>Grateloupia turuturu</i>					2			2		4
<i>Gymnophycus hapsiphorus</i>								14		14
<i>Halimeda incrassata</i>						46				46
<i>Hexaplex trunculus</i>						1				1
<i>Hydroides elegans</i>				1						1

<i>Hypnea flagelliformis</i>						37		1	2		40
<i>Hypnea sp.</i>									12		12
<i>Kirchenpaueria halecioides</i>	1						10		36		47
<i>Laurencia brongiartii</i>				3	7			3			13
<i>Laurencia chondrioides</i>				3	12			3		3	21
<i>Laurencia dendroidea</i>				5	22			2	2	2	33
<i>Lophocladia trichoclados</i>							29		3		32
<i>Melanothamnus harveyi</i>				4			1		3		8
<i>Melanothamnus sphaerocarpus</i>					9				6	6	21
<i>Microcosmus squamiger</i>				1			31		89	1	122
<i>Mycale sp.</i>									1		1
<i>Mytilus edulis</i>								3	8		11
<i>Ostrea sp.</i>							12		33		45
<i>Papenfussiella kuromo</i>	2	1	19				12		7		41
<i>Paracerceis sculpta</i>									1		1
<i>Paraleucilla magna</i>									11	1	12
<i>Petalonia binghamiae</i>				2	8				14	2	26
<i>Phorcus sauciatus</i>							28				28
<i>Ruditapes decussatus</i>								1			1
<i>Scageliopsis patens</i>	4										4
<i>Schizoporella errata</i>	1						9		51	2	63
<i>Spirorbis marioni</i>	7		1				56		137	3	204
<i>Spongoclonium caribaeum</i>					2				2		4
<i>Stenothoe georgiana</i>									3		3
<i>Styela clava</i>									1		1
<i>Styela plicata</i>							4		42		46
<i>Symphyocladia marchantioides</i>				1	53		13	8	55	6	136
<i>Tricellaria inopinata</i>	4						29		64	3	100
<i>Tubularia indivisa</i>	1										1
<i>Watersipora subtorquata</i>	4						8		100	1	113
<i>Xiphosiphonia pinnulata</i>					3		16		5		24
Observaciones Total	2	171	67	174	247	599	43	###	73	3029	
Especies Total	1	25	4	21	18	32	14	55	23	75	

Tabla A2: Análisis de presencia por tipos de hábitats

Especies	A3	A4	A5	A6
<i>Acrothamnion preissii</i>	7			
<i>Amathia verticillata</i>	4		1	2
<i>Antithamnion diminuatum</i>	4		1	
<i>Antithamnion hubbsii</i>	1		7	
<i>Antithamnionella ternifolia</i>			1	
<i>Aplus dorbignyi</i>	2			
<i>Asparagopsis armata</i>	61	2	47	
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	81	5	56	4
<i>Bonnemaisonia hamifera</i>	1		3	
<i>Botryllus schlosseri</i>	7			
<i>Branchiomma luctuosum</i>			2	
<i>Bugula neritina</i>	28		7	2
<i>Bugulina simplex</i>	2			
<i>Cacospongia mollior</i>	1	4	1	
<i>Canistrocarpus cervicornis</i>	3			
<i>Caulerpa webbiana</i>	13	1	3	
<i>Ceramium cingulatum</i>	1			
<i>Clavelina lepadiformis</i>	1		1	
<i>Clavelina oblonga</i>	5			
<i>Codium fragile</i>	2		8	
<i>Diplodus vulgaris</i>	37	4	12	2
<i>Distaplia corolla</i>	15		7	4
<i>Grallatoria reptans</i>	1			
<i>Grateloupia filicina</i>			2	
<i>Gymnophycus hapsiphorus</i>	1		10	
<i>Halimeda incrassata</i>			27	
<i>Hydroides elegans</i>	1			
<i>Hypnea flagelliformis</i>	3			
<i>Hypnea sp.</i>	7	1	1	
<i>Laurencia chondrioides</i>	1	3		
<i>Laurencia dendroidea</i>	3	2	1	
<i>Lophocladia trichoclados</i>	9		7	
<i>Melanothamnus harveyi</i>			1	
<i>Melanothamnus sphaerocarpus</i>	4		2	
<i>Microcosmus squamiger</i>	1			
<i>Papenfussiella kuromo</i>	6		3	
<i>Petalonia binghamiae</i>	2		2	
<i>Phorcus sauciatus</i>	2			
<i>Scageliopsis patens</i>	2			
<i>Spirorbis marioni</i>	1		1	
<i>Stenothoe georgiana</i>			3	
<i>Symphyclocladia marchantioides</i>	18	4	12	
<i>Tricellaria inopinata</i>	2			

<i>Watersipora subtorquata</i>	1			2
<i>Xiphosiphonia pinnulata</i>			2	
Observacioens Totales	341	26	231	16
Especies Totales	39	10	30	7



Tabla A3: Análisis de impacto de especies no indígenas presentes en la Azores a nivel mundial

<i>Species</i>	<i>Location</i>	<i>Impact</i>	<i>Positive / Negative</i>
<i>Amathia verticillata</i>	Azores	<i>Alters community structure and composition, outcompeting native species</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Disrupts ecosystem functioning and nutrient cycling</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Impairs commercial and recreational activities, such as fishing and boating</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Invades coastal habitats and outcompetes native species</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Reduces biodiversity and alters community structure</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Impairs aquaculture activities</i>	<i>Negative</i>
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	Azores	<i>Forms dense mats that smother native species</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Inhibits growth and photosynthesis of native macroalgae</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Alters benthic community structure</i>	<i>Positive</i>
	Azores	<i>Reduces richness and diversity of native macroalgae</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Reduces recruitment of native species</i>	<i>Negative</i>
	Azores	<i>Displaces native fauna</i>	<i>Negative</i>
	France (Mediterranean Sea)	<i>Rapid spread in a national park, alters community structure and composition, outcompetes native species</i>	<i>Negative</i>

	Strait of Gibraltar	Produces a novel chemical weapon that contributes to invasive capacity	Negative
	Strait of Gibraltar	Meanwhile, the coverage of the bioindicator species <i>P. clavata</i> and <i>M. expansum</i> decreased	Negative
	Strait of Gibraltar	Competition with local shallow communities and growing by epibiosis on coralligenous species (<i>P. clavata</i> <i>Paramuricea clavata</i>), which is a specie of ecological and conservational importance in the Mediterranean Sea	Negative
	Strait of Gibraltar	Produces a shift in habitats and its bioindicator community	Positive
	Not specified	Enhances methane production through anaerobic codigestion with olive mill solid waste	Negative
	Estrecho Natural Park, Spain	Causes extreme impacts and radical changes in underwater seascape	Negative
	Strait of Gibraltar	Causes extreme impact in the Strait of Gibraltar, turning from exotic to invasive in record time	Negative
	Canary Islands	Forms extensive monospecific meadows and reduces local biodiversity	Negative
	Mediterranean Sea	Alteration of trophic webs and local biodiversity	Positive
<i>Halimeda incrassata</i>	Caribbean, Indian and Pacific Oceans	Reduces coral recruitment and growth; alters benthic community structure; impacts on nutrient cycling; algal blooms;	Negative
	Mediterranean Sea	Some species changed their distribution and abundance in relation to the presence of <i>H. incrassata</i> .	Negative
	Azores	Alters physical and chemical characteristics of water column and affect biodiversity of associated organisms	Negative

<i>Caulerpa prolifera</i>	Mediterranean Sea, Atlantic Ocean, IndoPacific	Outcompetes native species; alters benthic community structure; impacts on nutrient cycling; invasive biomass	Negative
	Azores	Displaces native flora and fauna and alter structure and functioning of local ecosystems	Negative
	Red Sea, Mediterranean Sea, IndoPacific	Outcompetes native species; alters benthic community structure; impacts on nutrient cycling; invasive biomass	Negative
	Azores	Displaces native flora and fauna and alter structure and functioning of local ecosystems	Negative
<i>Lophocladia trichoclados</i>	Mediterranean Sea	Outcompetes native species; alters benthic community structure; impacts on nutrient cycling; invasive biomass	Negative
<i>Mycale spp.</i>	Atlantic and Pacific Oceans	Outcompetes native species; alters benthic community structure; impacts on nutrient cycling; invasive biomass	Negative
	Azores	Competes with native filter feeders and modify benthic habitats	Negative
<i>Phorcus sauciatus</i>	Mediterranean Sea	Predation on native species; impacts on community structure and biodiversity	Negative
	Azores	Competes with native grazers and impact local food webs	Negative
<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	Europe (Atlantic coast)	Forms dense and extensive reefs, altering habitat structure and community composition	Positive
	Europe (Atlantic coast)	Impairs navigation, recreation, and fishing activities	Negative

	Non specified		Remove suspended particulate matter and reduce excess nutrient loads improving the water quality and environmental conditions for other surrounding benthic species	Positive
	Europe (Atlantic coast)		Alters sediment characteristics, affecting local ecosystem processes	Positive
	Azores		Alters structure of benthic habitats and displace native species	Negative
	Asia (Hong Kong)		Increases water turbidity, affecting local ecosystem processes	Negative
<i>Branchioma luctuosum</i>	North America (California)		Reduces native seagrass abundance and alters community structure	Negative
	North America (California)		Limits light availability for native seagrasses, reducing their growth and photosynthesis	Negative
	North America (California)		Forms dense mats that displace and smother native species, altering local habitat structure and composition	Negative
	North America (California)		Alters benthic community structure and species composition	Negative
	North America (California)		Disrupts local ecosystem functioning and nutrient cycling	Negative

Tabla A4: Analisis de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas

Species				Contribuciones de la Naturaleza a las Personas	+	-
					Impact	Impact
<i>Amathia verticillata</i>	Regulating services	Habitat creation and maintenance		Increases habitat complexity and diversity	X	
	Regulating services	Habitat creation and maintenance		Provides nursery habitat for some fish species	X	
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms		Outcompetes and displaces native benthic species		X
	Regulating services	Formation and protection of soils		Impacts sediment stability and nutrient cycling		X
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	Regulating services	Habitat creation and maintenance		Provides habitat and food for some marine organisms	X	
	Regulating services	Regulation of climate		Carbon sequestration	X	
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms		Enhances local biodiversity	X	X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms		Biodiversity loss with both ecological and economic impacts		X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms		Outcompetes and displaces native benthic species		X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms		Loss of native genotypes		X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance		Habitat creation and maintenance	X	
	Regulating services	Habitat creation and maintenance		Changes in community structure		X

	Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Changes in food web structure and ecosystem processes	X
	Material	Medicinal and genetic resources	Impact on human health	X
	Material	Materials and assistance	Substantial economic losses	X
	Regulating services	Regulation of freshwater quality	Nutrient cycling	X
	Regulating services	Formation and protection of soils	Impacts sediment stability	X
<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Provides habitat for small organisms	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Creation of complex threedimensional habitats for marine organisms	X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Enhances local biodiversity	X
	Regulating services	Regulation of freshwater quality	Sediment stabilization	X
	Regulating services	Regulation of freshwater quality	Increased Biofiltration, water purification	X
	Regulating services	Regulation of freshwater quality	Nutrient cycling	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Remove suspended particulate matter and reduce excess nutrient loads improving the water quality and environmental conditions for other surrounding benthic species	X

Regulating services	Habitat creation and maintenance	Modifies habitats, water conditions and physical environments resulting in changes to native communities	X
Regulating services	Regulation of freshwater quality	Carbon sources impact	X
Regulating services	Habitat creation and maintenance	affects estuarine primary production and relative availability of planktonic and benthic carbon sources to higher trophic levels	X
Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Provision of refuges	X
Regulating services	Habitat creation and maintenance	Modification of flow and sedimentation patterns	Ni
	Alteration of water quality		X
Regulating services	Formation and protection of soils	Alters physical and chemical properties of sediment and water	X
Regulating services	Alteration of water quality	Loss of energy and nutrients from the water column and decrease pelagic production	X
Regulating services	Habitat creation and maintenance	Fouling of submerged structures	X
Material	Materials and assistance	Clogging the intake pipes of industrial and power plants, fouling equipment in aquaculture facilities, and also fouling surfaces in ports and docks, floating structures, hulls and propellers, requiring frequent maintenance and cleaning	X
Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Displaces native species and alter ecosystem function	X

<i>Branchioma luctuosum</i>	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Provides habitat for small organisms	X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Enhances local biodiversity	X
	Regulating services	Formation and protection of soils	Sediment stabilization	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Habitat creation and maintenance	X
	Regulating services	Regulation of freshwater quality	Nutrient cycling	X
	Regulating services	Formation and protection of soils	Alters physical and chemical properties of sediment and water	X
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Displaces native benthic species	X
<i>Halimeda incrassata</i>	Regulating services	Formation and protection of soils	Important source of calcium carbonate sedimentation	X
(IEE)	Regulating services	Formation and protection of soils	Carbonate production and sediment stabilization	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Habitat provision for marine organisms	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Enhanced food availability	X
	Regulating services	Habitat creation and maintenance	Provide new habitat and resources for other organisms, including small invertebrates	X
	Regulating services	Formation and protection of soils	Change the size and quantity of the sediment	Ni
	Regulating services	Regulation of detrimental organisms	Reduced light availability and competition with algae	X

Regulating services	Habitat creation and maintenance	Modification to the habitat, creation of a three-dimensional habitat	X
Regulating services	Formation and protection of soils	Stabilization of the bottom through the establishment of its rhizoids in the sand, as well as by enhancing sediment deposition or compactness	X

