

P2-PROYECTO DE TESIS PREDOCTORAL (IKERTALENT 2026)

Centro de realización: AZTI Sukarrieta (se puede valorar Pasaia)

Dirección y supervisión: Alice Manuzzi, Natalia Díaz-Arce, Guillem Chust.

PREDICCIÓN GENÓMICA DE LA RESILIENCIA Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA INFORMAR LA GESTIÓN PESQUERA

Los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas marinos son ya evidentes. Numerosas especies de peces están modificando su distribución geográfica¹, abundancia y rasgos biológicos en respuesta al calentamiento de los océanos, generando importantes desafíos para la conservación y la gestión sostenible de los recursos pesqueros. Sin embargo, aunque los modelos ecológicos permiten proyectar cambios futuros en la distribución de las especies y estimar su capacidad de aclimatación ante nuevas condiciones ambientales, rara vez incorporan la capacidad adaptativa de las poblaciones, determinada en gran medida por su diversidad genética y epigenética.

Esta limitación introduce una importante incertidumbre en las predicciones sobre la respuesta de las especies marinas al cambio climático. Las poblaciones pueden diferir sustancialmente en su capacidad para adaptarse a nuevas condiciones ambientales, lo que condiciona su persistencia, distribución futura y vulnerabilidad. A pesar de su relevancia, los mecanismos genéticos y epigenéticos que sustentan estas respuestas siguen siendo poco conocidos, especialmente en especies de interés pesquero.

En este contexto, el desarrollo de herramientas capaces de integrar información genómica, epigenómica y ambiental constituye una de las fronteras actuales de la investigación marina² y resulta fundamental para avanzar hacia estrategias de gestión pesquera más adaptativas y resilientes.

El objetivo del proyecto de tesis es desarrollar nuevas herramientas que permitan incorporar información genómica y epigenómica en las predicciones sobre la respuesta de las especies marinas al cambio climático y trasladar este conocimiento a la evaluación, conservación y gestión sostenible de los recursos pesqueros.

En particular, pretende 1) estimar la vulnerabilidad y/o capacidad de adaptación evolutiva de determinadas especies y poblaciones frente al cambio climático teniendo en cuenta su capacidad de aclimatación; 2) identificar los mecanismos genéticos y epigenéticos que favorecen la adaptación a nuevas condiciones ambientales; 3) evaluar cómo estos procesos condicionarán la distribución futura de las especies y la localización de áreas de mayor riesgo climático; y 4) desarrollar herramientas que permitan incorporar esta información en la evaluación y gestión sostenible de los recursos pesqueros.

Cuatro casos de estudio complementarios

Para responder a estas cuestiones, el proyecto de tesis se enmarca en un proyecto más amplio que combina información genómica, epigenómica y ambiental con modelos ecológicos de distribución espacial bajo proyecciones climáticas futuras. El estudio adoptará un enfoque comparativo basado en cinco especies de peces de relevancia ecológica y pesquera en el Atlántico Nordeste, organizadas en cuatro casos de estudio que representan distintos patrones biológicos, niveles de conectividad poblacional y potenciales respuestas al cambio climático.

La tesis se centrará principalmente en la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) y la merluza europea (*Merluccius merluccius*), complementadas por análisis comparativos en atún listado (*Katsuwonus pelamis*) y las dos especies de rape (*Lophius piscatorius* y *Lophius budegassa*). Este enfoque permitirá evaluar cómo diferentes estrategias de vida, patrones de dispersión y mecanismos adaptativos condicionan la resiliencia de las poblaciones marinas frente a escenarios futuros de cambio climático.

La **anchoa** constituirá el principal modelo para investigar procesos de adaptación genética y epigenética al cambio climático. Su amplia distribución geográfica, que abarca diversos gradientes ambientales, junto con la existencia de ecotipos adaptados localmente y evidencias de cambios recientes en distribución, fenología y tamaño corporal asociados al calentamiento oceánico, la convierten en una especie idónea para estudiar los mecanismos que determinan la capacidad adaptativa de las poblaciones marinas para desarrollar indicadores de vulnerabilidad climática basados en el concepto de genomic offset, incorporando tanto información genética como epigenética.

Por otra parte, la **merluza europea** permitirá analizar procesos adaptativos a gran escala espacial y temporal, gracias también a la disponibilidad de extensos recursos genómicos. Esta especie, de gran importancia para las pesquerías del Atlántico Nordeste y el Mediterráneo, presenta patrones complejos de diferenciación genómica, incluyendo regiones cromosómicas estructurales, como inversiones cromosómicas, potencialmente implicadas en procesos de adaptación local. El proyecto evaluará cómo estas variantes influyen en la respuesta adaptativa de las poblaciones frente a futuros escenarios ambientales.

Los restantes casos de estudio proporcionarán escenarios biológicos comparativos que permitirán validar las herramientas desarrolladas en distintos contextos ecológicos. El **atún listado**, caracterizado por una elevada conectividad poblacional y una gran capacidad migratoria, permitirá analizar cómo la dispersión a gran escala influye en la capacidad de adaptación al cambio climático. Por otro lado, el **rape blanco** y el **rape negro** constituirán un modelo para estudiar el papel de la hibridación entre especies como posible mecanismo generador de diversidad adaptativa. La existencia de elevados niveles de hibridación en el Atlántico Nordeste convierte este sistema en una oportunidad única para investigar cómo el intercambio genético entre especies puede contribuir a la resiliencia de las poblaciones frente a cambios ambientales.

El proyecto aplicará una estrategia multidisciplinar que combinará herramientas de genómica, epigenómica, bioinformática y modelización ecológica para analizar la capacidad adaptativa de distintas especies marinas frente al cambio climático. Para ello, se utilizarán datos obtenidos mediante tecnologías de secuenciación de última generación junto con información ambiental actual y proyecciones derivadas de modelos climáticos globales. A partir de estos datos, se identificarán variantes genéticas y marcas epigenéticas asociadas a la adaptación ambiental, se estudiarán procesos evolutivos relevantes, y se evaluará la vulnerabilidad de especies y poblaciones frente a distintos escenarios climáticos. Posteriormente, esta información se integrará con modelos de distribución de especies (*Species Distribution Models*, SDMs) para generar predicciones que incorporen tanto la idoneidad ambiental futura como la capacidad adaptativa de las poblaciones. Este enfoque permitirá mejorar las estimaciones sobre los cambios futuros en la distribución, abundancia y resiliencia de los recursos marinos.

Un elemento especialmente innovador del proyecto será la evaluación de mecanismos para incorporar esta información genómica y epigenómica en los procesos de evaluación y gestión pesquera. Para ello, el estudiante trabajará en estrecha

colaboración con especialistas en evaluación de recursos y gestión pesquera, explorando cómo indicadores de vulnerabilidad climática, capacidad adaptativa y resiliencia poblacional pueden integrarse en marcos de evaluación y herramientas de apoyo a la toma de decisiones para avanzar hacia enfoques de gestión que incorporen explícitamente la capacidad evolutiva de las especies frente al cambio climático.

El proyecto de tesis se desarrollará en AZTI, en un entorno multidisciplinar que integra experiencia en genómica pesquera, modelización ecológica, cambio climático y evaluación de recursos marinos. El doctorando contará con el apoyo de investigadores especializados y de una red consolidada de colaboraciones nacionales e internacionales, incluyendo la participación activa de la Universidad de Oslo como socio científico.

Resultados esperados e impacto

El proyecto de tesis generará 1) conocimiento sobre la capacidad adaptativa de peces de interés comercial, incluyendo marcadores genéticos asociados a adaptación climática, mapas de zonas de distribución con mayor riesgo de vulnerabilidad y predicciones de distribución más precisas 2) herramientas genéticas para monitorización de la capacidad adaptativa de las poblaciones y herramientas informáticas para la integración de la adaptación genética en los modelos de distribución. El conocimiento y herramientas generados serán utilizados para avanzar hacia una gestión pesquera resiliente al cambio climático, permitiendo anticipar riesgos futuros y apoyar una gestión más resiliente de los recursos marinos en un contexto de cambio climático. Los resultados serán transferidos a organismos de evaluación pesquera, administraciones y sectores implicados en la gestión de los recursos marinos.

1.Chust, G., Villarino, E., McLean, M. *et al.* Cross-basin and cross-taxa patterns of marine community tropicalization and deborealization in warming European seas. *Nat Commun* 15, 2126 (2024).

2.Fitzpatrick, M.C., Keller, S.R. Ecological genomics meets community-level modelling of biodiversity: mapping the genomic landscape of current and future environmental adaptation. *Ecol Lett* 18, 1–16 (2015).