

# **UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES**

**MASTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍA Y DESARROLLO DE PROYECTOS SIG**

**DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION Y PROSPECCION DE MINAS**

**AREA DE INGENIERIA CARTOGRAFICA, GEODESIA Y FOTOGRAMETRIA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DESARROLLO DEL PROYECTO SIG DE LA PROSPECCIÓN DE BOSQUES DE LAMINARIAS  
EN LA COSTA OCCIDENTAL ASTURIANA**

**AUTOR: Lucas Vila Martínez**

**TUTOR: Raquel Perdiguer Lopez**

**COTUTOR: José Manuel Rico Ordas**

**MES JULIO, AÑO 2024**

*Gracias a la cátedra de Cambio Climático de la Universidad de Oviedo por su apoyo y por ofrecer un entorno de aprendizaje tan enriquecedor. Su contribución ha sido crucial para mi formación.*

## Contenido

1. Introducción.....	6
2. Objetivos.....	7
2.1 Objetivos Generales del proyecto SIG .....	7
2.2 Objetivos Específicos .....	7
3. Marco Teórico.....	8
3.1. Bosque de laminarias.....	8
3.2 Los Sistemas de Información Geográfica.....	10
3.2.1. Tecnología para el SIG de escritorio.....	11
3.2.2. Tecnologías para SIG Web.....	12
4. Metodología .....	16
4.1 Recopilación de informes .....	16
4.2. Transcripción de la información .....	16
4.3 Exportación de datos a QGIS .....	19
4.4 Exportación de datos a al SIG WEB.....	23
4.4.1. Desarrollo del SIG Web con OpenLayers .....	25
5. Resultados .....	31
5.1 SIG de Escritorio.....	31
5.2 SIG Web.....	33
6. Conclusiones.....	35
6.1 Sistemas de Información Geográficos .....	35
6.2 Estudio de la prospección de laminarias .....	35
7. Referencias Bibliográficas.....	36

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Diferentes portadas de los informes de prospección de diferentes años. .....	16
Ilustración 2. Tablas e información presente en los informes de las primeras campañas(izquierda) y de las últimas campañas (derecha).....	17
Ilustración 3. Fragmento de la tabla creada con los datos transcritos en tabla codificados y clasificados.....	18
Ilustración 4. Fragmento de la tabla de promedios de abundancia y profundidad por cada año por cada transecto.....	18
Ilustración 5. Proceso de ingresar la tabla a QGIS en formato CSV. Se señalan los desplegables donde indicamos cuales son los campos que debe interpretar como X e Y. .....	19
Ilustración 6. Constructor de consultas de QGIS.....	20
Ilustración 7. Ficheros creados al ejecutar OL en la carpeta indicada. ....	24
Ilustración 8. Open Layers con la estructura que trae por defecto. ....	25

## Índice de Figuras

Figura 1: Transectos de muestreo en la zona oriental de la costa asturiana, comprendiendo desde Ribadeo hasta Cudillero. Mapa relieve descarga de SITPA-IDEAS (composición del mapa en QGIS). ....	9
Figura 2. Detalle del transecto 10 relevado en 2009. Situado próximo a Cabo Vidio. La codificación T10-750-09 pertenece a T10 (Transecto 10), 750 (distancia a la costa) y por último 09 (año en el que se realizó el relevamiento).....	10
Figura 3. Ultima versión de QGIS. Sitio oficial: <a href="https://www.qgis.org/es/site/">https://www.qgis.org/es/site/</a> .....	11
Figura 4. Captura Sitio oficial Open Layers: <a href="https://openlayers.org/">https://openlayers.org/</a> .....	14
Figura 5. Parte de la tabla de atributos filtrada a través del constructor de consultas. ....	21
Figura 6. Visualización del resultado de aplicar el filtro número 1. Transectos con promedio anual de abundancia > 3.....	21
Figura 7. Constructor de consultas de QGIS. Arroja un resultado de 11 filas para el filtro aplicado. ....	22

Figura 8. Resultado de aplicar el filtro 2. Podemos ver que solo T3, T4, T5, T6 y T7 cumplen con esa condición. ....	22
Figura 9. Botón de descarga del instalador de Node.js. Link oficial: <a href="https://nodejs.org/en/download/prebuilt-installer">https://nodejs.org/en/download/prebuilt-installer</a> . ....	23
Figura 10. Captura del SIG Web con el control de capas desplegado. ....	30
Figura 11. Panel de capas en QGIS. ....	31
Figura 12. Promedio de abundancia anual por transecto. ....	32
Figura 13. Captura general del SIG Web. ....	33
Figura 14. Detalle del transecto 1 de la campaña 2009 del muestreo a 850 m de la costa. ....	33
Figura 16. Detalle del PopUp con la información indicada en el código. ....	34

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de la abundancia de Algas. ....	9
Tabla 2. Campos y tipos de datos de los valores de campo. ....	26

## 1. Introducción

En los últimos años, se ha observado una preocupante regresión de las grandes poblaciones de laminarias en la costa norte de España, particularmente en la zona occidental del Principado de Asturias. Por ello, este fenómeno se ha convertido en objeto de estudio de interés para investigadores, como la Universidad de Oviedo que, en el marco de un convenio con el Centro de Experimentación Pesquera del Principado de Asturias, comenzó a estudiar los datos de cobertura de laminarias a lo largo del tiempo, para entender mejor las dinámicas que afectan a estas formaciones algales.

En este contexto, en la Cátedra de Cambio Climático de la Facultad de Biología se lleva a cabo el proyecto **“DE LA PROSPECCIÓN DE BOSQUES DE LAMINARIAS EN LA COSTA OCCIDENTAL ASTURIANA”**. A partir de los datos obtenidos en el mismo, se propuso desarrollar el proyecto SIG, a través de la creación de dos productos principales: un SIG de escritorio y un SIG web.

Esta memoria se organiza como se presenta a continuación. En primer lugar, se expondrán los objetivos. Luego, procederemos a presentar el marco teórico sobre el cual se sustentó el desarrollo del proyecto. Posteriormente, nos detendremos en la explicación de la metodología que permitió llegar a lo presentado en el próximo capítulo, el de resultados. En el último apartado se presentarán las conclusiones de este trabajo.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivos Generales del proyecto SIG

- **Generar un SIG de escritorio** que facilite un análisis detallado y preciso del fenómeno estudiado, al que se pueda acceder sin necesidad de conexión a la red.
- **Desarrollar un SIG Web** que facilite la difusión y el acceso a la información por diferentes usuarios y entidades, al que podamos acceder desde cualquier dispositivo con conexión.

### 2.2 Objetivos Específicos

- **Recopilación de Datos:** Identificación y recolección de datos geoespaciales relevantes.
- **Procesamiento de Datos:** Limpieza y transformación de los datos para su integración en el SIG.
- **Generación de Visualizaciones:** Creación de mapas y otras visualizaciones geográficas que faciliten el análisis y la interpretación de los datos.

## 3. Marco Teórico

### 3.1. Bosque de laminarias

Los bosques submarinos de laminarias (Fotografía 1) son fundamentales tanto desde el punto de vista ecológico como económico, proporcionando hábitat y alimento a numerosas especies marinas y sirviendo como recurso para diversas actividades humanas, incluyendo la pesca y la recolección de algas. La notable disminución de estas poblaciones ha generado preocupación entre científicos, pescadores y autoridades debido a sus posibles consecuencias negativas.



Fotografía 1. Bosque de algas en la campaña 2009. Fuente: *Prospección prospección de bosques de laminarias en la costa occidental asturiana.*

Las laminarias u organismos Laminariales es un orden de grandes algas perteneciente a la clase *Phaeophyceae* (algas pardas). También se las denomina “*quelpos*”. A pesar de su apariencia de grandes plantas marinas, no pertenecen al reino de las plantas y algas verdes (Reino Plantae), sino que se clasifican en el *Reino Protista*. Se conocen alrededor de 30 géneros.

Estas algas crecen en bosques submarinos (bosques de algas) de aguas someras y claras, ricas en nutrientes y temperaturas por debajo de los 20 °C. Estos bosques ofrecen protección a algunas criaturas marinas, y alimentos para otros.

Dada la desaparición evidente de estos bosques submarinos se plasmó la idea de estudiar y analizar la situación actual por lo que se dio lugar al proyecto “Prospección de Bosques de Laminarias en la Costa Occidental Asturiana”, la cual se llevó a cabo en la franja infralitoral de la costa occidental del Principado de Asturias, abarcando profundidades de 0 a 20 metros.

Se establecieron transectos específicos a lo largo de la costa para evaluar la cobertura de laminarias. Estos transectos fueron seleccionados para representar diferentes tipos de hábitats y niveles de exposición al oleaje.

En cada transecto, se realizaron observaciones directas y se tomaron muestras para analizar la densidad y la distribución de las laminarias, así como para identificar otras especies de algas que podrían estar ocupando su nicho ecológico.

La variable principal que se ha medido es la abundancia de la especie *Laminaria sp.* que se mide en términos de presencia a través del conteo de una superficie delimitada en el estudio que consiste en una cuadrícula de 1mx1m.

Se considera el grado de abundancia “Presente” cuando la cobertura es menor del 5%. Se considera el grado de abundancia “Bien” cuando la cobertura es del 5 al 25%. Se considera el grado de abundancia “Abundante” cuando la cobertura es del 25 al 50%. Se considera el grado de abundancia “Dominante” cuando la cobertura es mayor del 50% (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de la abundancia de Algas.

Índice	(-)	I	II	III	IV
Significado	Ausente	Presente	Bien	Abundante	Dominante

Se llevaron a cabo prospecciones en la franja infralitoral de la costa occidental de Asturias durante la primavera y el verano de los años 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2021 y 2023 (Figura 1).

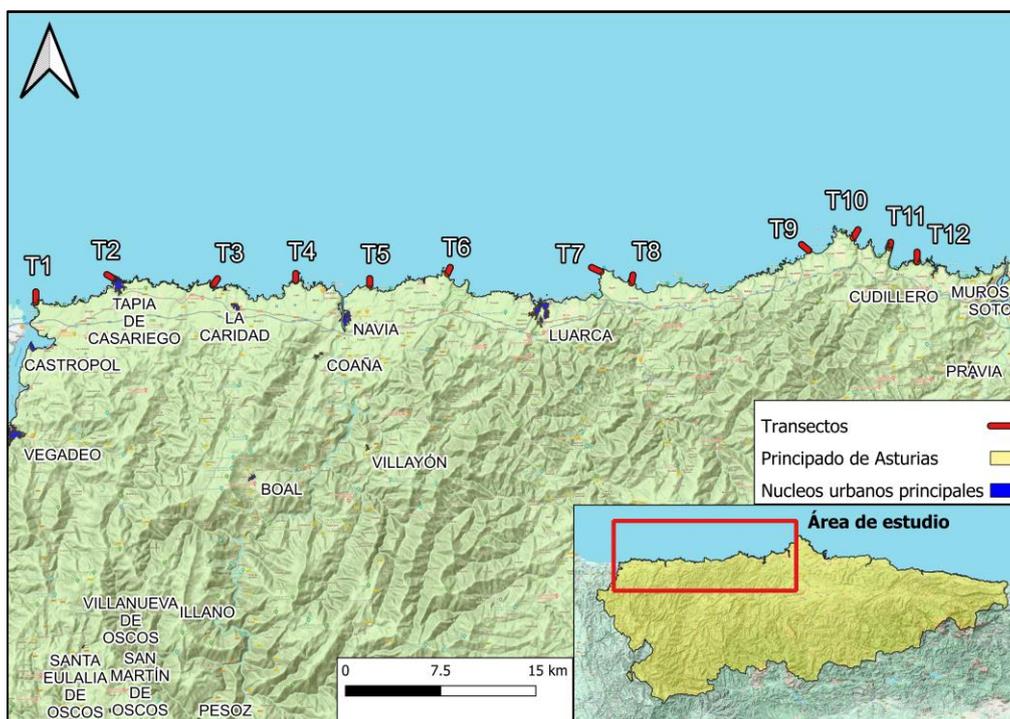


Figura 1: Transectos de muestreo en la zona oriental de la costa asturiana, comprendiendo desde Ribadeo hasta Cudillero. Mapa relieve descarga de SITPA-IDEAS (composición del mapa en QGIS).

Los transectos se ubican sobre una línea con determinada orientación y con una determinada longitud como se observa en la figura 2 la codificación de cada punto de muestreo del transecto se compone del número del transecto (desde el 1 hasta el 12), posteriormente la distancia a la que se encuentra desde la costa (desde 0m hasta 850m) y finalmente el año en fue tomado el dato (desde el año 2009 hasta el 2023) quedando con el siguiente formato “TXX-DD-AA”.

Se detalla en la figura 2 la disposición de los transectos y la ubicación del mismo dentro del estudio.

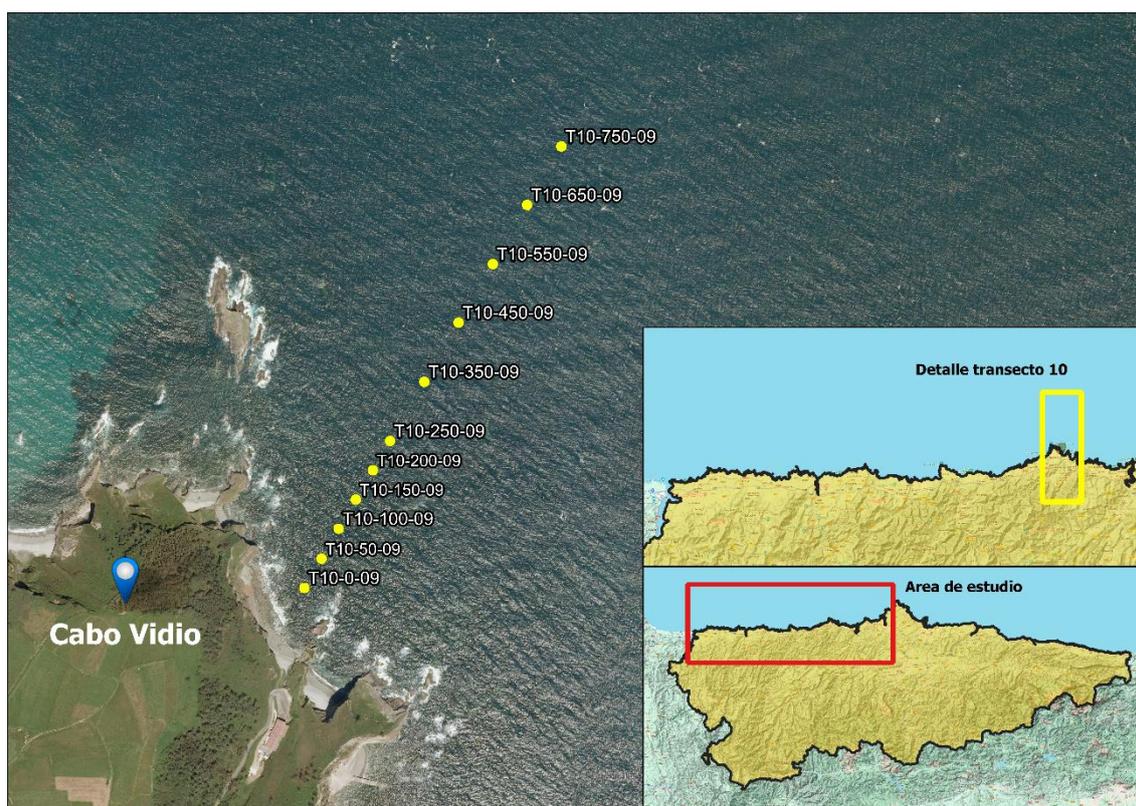


Figura 2. Detalle del transecto 10 relevado en 2009. Situado próximo a Cabo Vidio. La codificación T10-750-09 pertenece a T10 (Transecto 10), 750 (distancia a la costa) y por último 09 (año en el que se realizó el relevamiento)

### 3.2 Los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que capturan, almacenan, analizan y visualizan datos geoespaciales, facilitando la toma de decisiones en gestión ambiental e investigación científica.

En el caso de los SIG de escritorio permiten tener a disposición de manera local los datos y metadatos de todo lo generado permitiendo hacer modificaciones, consultas y análisis específicas.

En el caso de los SIG Web se prioriza la visualización y la difusión de la información pública para usuarios específicos y público en general.

### 3.2.1. Tecnología para el SIG de escritorio

En nuestro caso utilizamos el software QGIS. El programa Quantum GIS (o QGIS) es un software de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows, que permite manejar formatos ráster y vectoriales, así como bases de datos. Se puede encontrar la información oficial en <https://www.qgis.org/es/site/>.

El proyecto QGIS fue uno de los primeros ocho proyectos de la *Fundación OSGeo* y en 2008 oficialmente superó la fase de incubación. QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su Interfaz gráfica de usuario y tiene una infraestructura de complemento. Esto quiere decir que el usuario puede adicionar muchas funcionalidades nuevas escribiendo sus propios complementos, que pueden ser escritos en C++ o en Python.



Figura 3. Última versión de QGIS. Sitio oficial: <https://www.qgis.org/es/site/>

Las principales ventajas con las que cuenta QGIS son las siguientes:

- Software libre y de código abierto, pero robusto y fiable a largo plazo. Es un software completamente gratuito, lo que permite a las empresas ahorrar significativamente en costes de licencias. Al ser de código abierto, es desarrollado por una comunidad global que asegura actualizaciones frecuentes y mejoras constantes, haciendo de QGIS una herramienta confiable y robusta a largo plazo.
- Amplia gama de funcionalidades. Ofrece una extensa variedad de herramientas para análisis espacial, procesamiento de datos ráster y vectoriales, y creación de mapas profesionales. Además, soporta la automatización de tareas mediante scripting en Python y permite la integración con otros sistemas SIG, proporcionando una solución completa para la gestión y análisis de datos geoespaciales.
- Posibilidad de utilizar o crear aplicaciones propias. Este SIG de escritorio se distingue por su extensibilidad a través de plugins, permitiendo a las empresas personalizar y ampliar sus funcionalidades según sus necesidades específicas.

Además, la posibilidad de desarrollar plugins propios en Python facilita la creación de soluciones innovadoras y adaptadas a requerimientos particulares.

- Interfaz fácil de usar adecuada incluso para usuarios sin experiencia previa en SIG. La comunidad de QGIS ofrece numerosos recursos de aprendizaje, como tutoriales y documentación, que ayudan a los usuarios a familiarizarse rápidamente con la herramienta y a aprovechar al máximo sus funcionalidades.
- Flexibilidad y escalabilidad. Es compatible con múltiples sistemas operativos y una amplia variedad de formatos de datos espaciales, lo que facilita su integración en diversas infraestructuras tecnológicas y su escalabilidad a medida que las necesidades de la empresa crecen.
- Comunidad activa y colaborativa. Los usuarios y desarrolladores contribuyen continuamente al desarrollo y mejora del software, comparten soluciones y fomentan la innovación. Esto asegura que QGIS se mantenga actualizado y relevante, adaptándose a las necesidades cambiantes del mercado.
- Disponibilidad de soporte comercial. Para quienes necesitan soporte adicional, QGIS ofrece opciones de soporte comercial a través de una red de proveedores especializados. Estos proveedores pueden asistir en la implementación y desarrollo de funcionalidades específicas, garantizando que las empresas cuenten con el apoyo necesario para mantener el software operando de manera óptima.

Según lo mencionado el GIS de escritorio es el candidato ideal para desarrollar este proyecto ya que es un software libre y de código abierto, lo que lo hace accesible para la investigación y el uso académico.

Además, dada la extensa variedad de herramientas para análisis espacial, nos abre la puerta para avanzar en diferentes formatos que justamente necesitamos en ese tipo de tareas.

Finalmente, la principal ventaja que mejora todo lo mencionado anteriormente es la interfaz adecuada incluso para usuarios sin experiencia previa en SIG que nos ofrece mucha información en línea como tutoriales y documentación que ayudan familiarizarse rápidamente con el software.

### 3.2.2. Tecnologías para SIG Web

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) web, o SIG basado en la Web, es una plataforma que utiliza la tecnología de la World Wide Web para la gestión, análisis, visualización y distribución de datos espaciales. En contraste con los SIG tradicionales, que se ejecutan en sistemas de escritorio específicos, los SIG web permiten el acceso y la manipulación de información geoespacial a través de navegadores web desde cualquier lugar con conexión a Internet.

Los SIG Web cuentan con las siguientes ventajas:

- **Alcance global:** El SIG web permite que aplicaciones geográficas sean accesibles globalmente a través de Internet, sin importar la distancia entre el servidor y el usuario. Esto es posible gracias a la compatibilidad universal de HTTP, que atraviesa fácilmente los cortafuegos organizacionales, garantizando una amplia accesibilidad.
- **Acceso a múltiples usuarios:** A diferencia del SIG de escritorio que es utilizado generalmente por un solo usuario o grupo de usuarios a la vez, el SIG web puede ser accesible simultáneamente por docenas o incluso cientos de usuarios, requiriendo una mayor capacidad de rendimiento y escalabilidad.
- **Compatibilidad multiplataforma:** Los SIG web funcionan en la mayoría de los navegadores web, como Chrome, Firefox y Safari, que son compatibles con los estándares HTML y JavaScript. Esto permite que los SIG web sean accesibles desde diferentes sistemas operativos, como Windows, Linux y macOS.
- **Coste reducido por usuario:** El contenido de SIG web generalmente es gratuito para los usuarios finales. Las organizaciones pueden minimizar costos al permitir que múltiples usuarios accedan a un único SIG web, eliminando la necesidad de comprar e instalar software de escritorio individualmente.
- **Facilidad de uso:** Diseñados para ser intuitivos y accesibles, los SIG web son fáciles de usar incluso para aquellos sin experiencia en SIG, a diferencia de los SIG de escritorio que requieren formación especializada.
- **Actualizaciones unificadas:** Las actualizaciones en SIG web son centralizadas, afectando a todos los usuarios de una vez, lo que simplifica el mantenimiento y garantiza que todos tengan acceso a la información más reciente sin necesidad de instalar actualizaciones manualmente.
- **Diversas Aplicaciones:** Los SIG web tienen un amplio rango de aplicaciones, accesibles tanto para profesionales como para el público general, permitiendo usos como la localización de puntos Wi-Fi, etiquetado de fotos y visualización de mapas personalizados.

En el presente trabajo se utilizará **OpenLayers 9.4.2** que es una biblioteca JavaScript de código abierto utilizada para crear mapas interactivos en aplicaciones web. Ofrece una plataforma robusta y fácil de usar para desarrolladores que buscan incorporar funcionalidades geográficas avanzadas en sus proyectos. Similar a otras bibliotecas como Leaflet y Google Maps, OpenLayers es totalmente gratuita y permite la personalización completa de los mapas, desde la interacción básica hasta configuraciones y estilos avanzados.

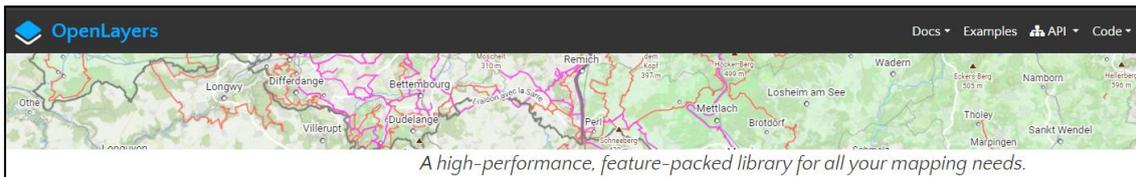


Figura 4. Captura Sitio oficial Open Layers: <https://openlayers.org/>

#### Principales ventajas de OpenLayers:

- **Código Abierto y Gratuito:** Totalmente gratuito y sin restricciones de licencia, lo que permite una integración económica en proyectos web.
- **Flexibilidad y Personalización:** Permite la creación de mapas altamente personalizables con zoom, panorámica, marcadores y ventanas emergentes personalizadas.
- **Compatibilidad de Datos:** Soporta una amplia variedad de formatos de datos como mosaicos vectoriales y ráster, facilitando la integración de múltiples fuentes de datos geoespaciales.
- **Interactividad Avanzada:** Herramientas robustas para zoom, desplazamiento, edición de marcadores y visualización de información adicional en ventanas emergentes.
- **Soporte de Geolocalización:** Integración de funcionalidades que permiten interactuar con el mapa según la ubicación del usuario, ideal para aplicaciones móviles y servicios basados en ubicación.
- **Diseño Adaptable:** Compatible con dispositivos móviles y de escritorio, garantizando una experiencia de usuario coherente en diferentes plataformas.
- **Comunidad Activa:** Respaldada por una comunidad activa de desarrolladores que aseguran soporte continuo, documentación y mejora constante de la biblioteca.

En el caso de la versión 9.2.4 de OpenLayers utilizada en este trabajo es una potente biblioteca para la creación de mapas interactivos en la web. Ofrece soporte para diversas capas geoespaciales, como WMS y vectoriales, y optimiza el rendimiento para manejar grandes volúmenes de datos. Incluye herramientas de interacción como controles de navegación y edición de características, y permite la personalización extensiva de mapas. Es ideal para aplicaciones que requieren visualización y manipulación avanzada de datos geoespaciales.

Las principales mejoras de esta versión están relacionadas con:

- Rendimiento Mejorado: Optimiza el renderizado y manejo de grandes volúmenes de datos geoespaciales.
- Nuevas Funcionalidades: Soporte ampliado para múltiples proyecciones y nuevos controles de navegación y edición.
- Mayor Extensibilidad: Más opciones para personalización de mapas y estilos.
- Corrección de Errores: Mejora la estabilidad y seguridad con parches y actualizaciones recientes.
- Documentación Actualizada: Mejor acceso a información y ejemplos actualizados para desarrolladores.

## 4. Metodología

### 4.1 Recopilación de informes

Para poder comenzar a elaborar el proyecto se accedió a los informes de prospección de bosques de laminarias en la costa occidental asturiana del año 2009 al 2023. Se organizaron en carpetas y se transformaron a formato PDF.

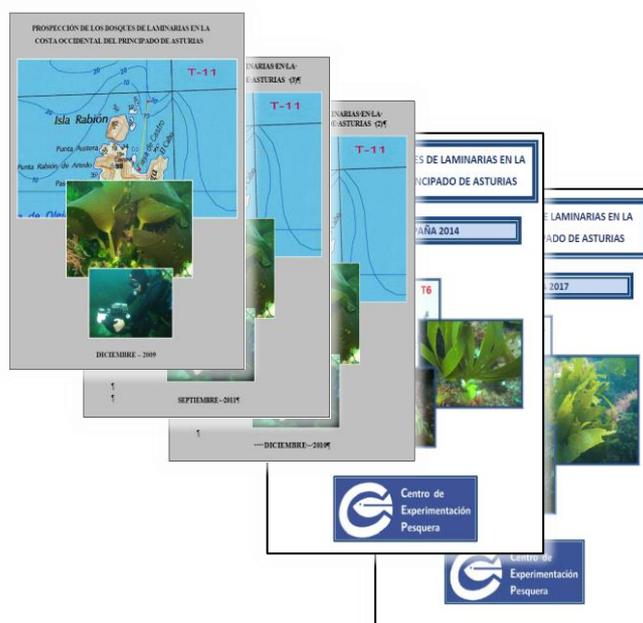


Ilustración 1. Diferentes portadas de los informes de prospección de diferentes años.

### 4.2. Transcripción de la información

La información obtenida se encontraba en formato de texto o imagen, por lo que era necesario realizar el procesamiento de datos en formato de tabla, y así conformar unas bases de datos geospaciales. Por lo tanto, se procedió a realizar tablas organizadas a través de Microsoft Excel. Las planillas difieren entre las diferentes campañas, pero en general contaban con la siguiente información:

Posición del punto inicial: 43° 34.122' N; 6° 28.364' W  
 Rumbo: 295°  
 Longitud total: 860 metros.  
 Ancho de banda: 14 metros.  
 Profundidad máxima alcanzada: 24,4 (27,4) metros.

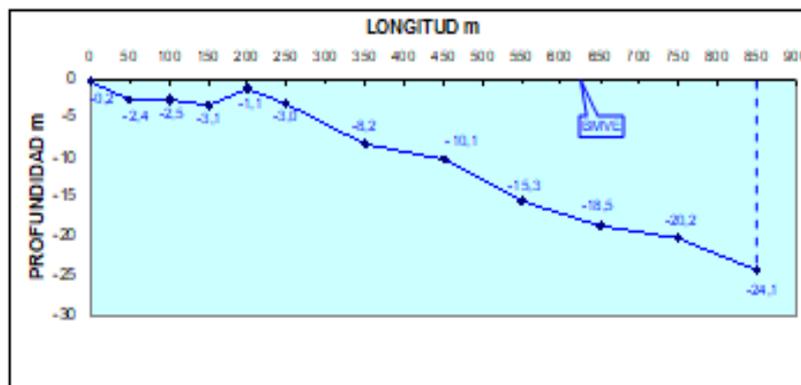


Figura 81. Perfil batimétrico del transecto T7.

Punto T6-150				
Coordenadas	Datum	Huso	UTMX	UTMY
	ETRS89	29T	692040	4827060
Profundidad (m)	11.1			
Sustrato:	Sustrato rocoso de perfil irregular con surcos			
Laminariales	<i>Sacchoriza polyschides</i> I se presenta en forma de individuos muy dispersos y de tamaño medio a pequeño			
Muestras: Ejemplares por m2	M1		M2	
	0		0	
Otras algas presentes:	<i>Gelidium sp. I</i>		<i>Asparagopsis armata II</i>	
	<i>Corallina sp. II</i>		<i>Codium sp. I</i>	
	<i>Stypocaulon scoparium I</i>		<i>Cystoseira baccata I</i>	
Observaciones:	Alta diversidad de especies			
Fotografías:				

Ilustración 2. Tablas e información presente en los informes de las primeras campañas (izquierda) y de las últimas campañas (derecha).

Para poder utilizar esta información se utilizó Excel como herramienta de conversión configurando la tabla con el siguiente formato:

id_tr	dist_costa	UTMX	UTMY	prof_m	cobert_abu	Lon_traza	fecha	anyo	layer
T1-0-09	0	659546	4824632	0.2	4	850	39934	2009	id_tr_T1-0-09
T1-0-10	0	659546	4824632	0.2	4	850	40313	2010	id_tr_T1-0-10
T1-0-11	0	659546	4824632	0.2	4	850	40705	2011	id_tr_T1-0-11
T1-0-13	0	659546	4824632	0.2	3	750	41452	2013	id_tr_T1-0-13
T1-0-14	0	659546	4824632	0.4	4	750	41897	2014	id_tr_T1-0-14
T1-0-15	0	659546	4824632	1	4	750	42192	2015	id_tr_T1-0-15
T1-0-16	0	659546	4824632	2.2	2	750	42646	2016	id_tr_T1-0-16
T1-0-17	0	659546	4824632	1.3	2	750	42908	2017	id_tr_T1-0-17
T1-0-18	0	659546	4824632	2	3	750	43334	2018	id_tr_T1-0-18
T1-0-21	0	659546	4824632	2.2	3	650	44445	2021	id_tr_T1-0-21
T1-0-23	0	659546	4824632	4.5	3	650	45005	2023	id_tr_T1-0-23
T1-100-09	100	659546	4824732	4.8	4	850	39934	2009	id_tr_T1-100-0
T1-100-10	100	659546	4824732	4.8	4	850	40313	2010	id_tr_T1-100-1
T1-100-11	100	659546	4824732	4.8	4	850	40705	2011	id_tr_T1-100-1
T1-100-13	100	659546	4824732	4.8	3	750	41452	2013	id_tr_T1-100-1
T1-100-14	100	659546	4824732	2.6	4	750	41897	2014	id_tr_T1-100-1
T1-100-15	100	659546	4824732	5.4	4	750	42192	2015	id_tr_T1-100-1
T1-100-16	100	659546	4824732	5.6	3	750	42646	2016	id_tr_T1-100-1
T1-100-17	100	659546	4824732	5.3	3	750	42908	2017	id_tr_T1-100-1
T1-100-18	100	659546	4824732	4.1	3	750	43334	2018	id_tr_T1-100-1
T1-100-21	100	659546	4824732	4.3	4	650	44445	2021	id_tr_T1-100-2

Ilustración 3. Fragmento de la tabla creada con los datos transcritos en tabla codificados y clasificados.

Una vez ordenados y transcritos los datos se calculó el promedio tomando en cuenta el porcentaje de cobertura de laminarias según cada transecto por cada año y se ve de la siguiente forma:

Transecto	Año	Promedio Abundancia	Promedio Profundidad	UTMX	UTMY
T1	9	3.00	6.64	659546	4825482
T1	10	3.50	6.68	659546	4825482
T1	11	3.58	6.68	659546	4825482
T1	13	2.73	6.15	659546	4825482
T1	14	3.73	4.55	659546	4825482
T1	15	4.00	8.07	659546	4825482
T1	16	3.27	5.67	659546	4825482
T1	17	2.64	5.91	659546	4825482
T1	18	3.00	5.66	659546	4825482
T1	21	3.90	5.33	659546	4825482
T1	23	3.00	10.46	659546	4825482
T10	9	0.00	9.65	724340	4830411
T10	10	1.73	9.65	724340	4830411
T10	11	1.73	9.65	724340	4830411
T10	13	0.64	9.65	724340	4830411
T10	14	1.09	10.31	724340	4830411
T10	15	1.82	9.29	724340	4830411
T10	16	1.00	10.71	724340	4830411
T10	17	1.09	10.76	724340	4830411

Ilustración 4. Fragmento de la tabla de promedios de abundancia y profundidad por cada año por cada transecto.

### 4.3 Exportación de datos a QGIS

Los datos ya en forma de tabla, se transformaron a formato delimitado por texto CSV con el objetivo de introducirlos a QGIS y visualizar los transectos de manera precisa y ordenada.

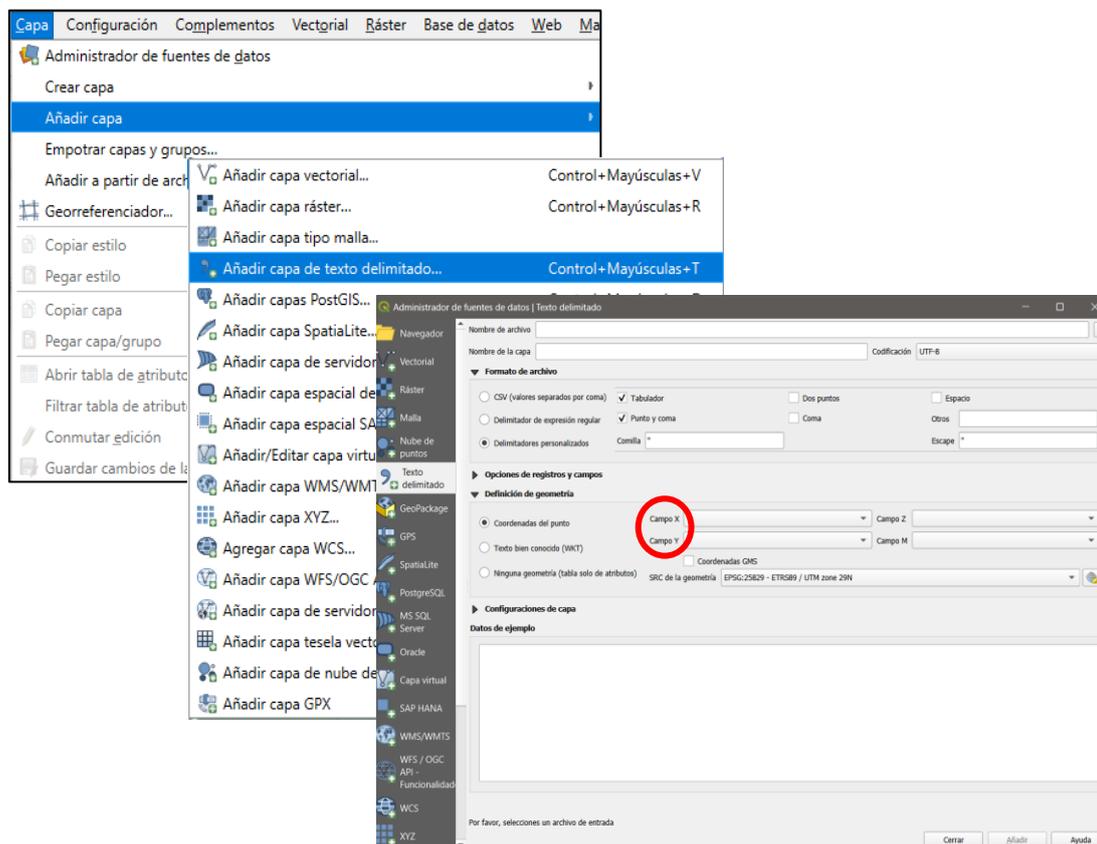


Ilustración 5. Proceso de ingresar la tabla a QGIS en formato CSV. Se señalan los desplegables donde indicamos cuales son los campos que debe interpretar como X e Y.

Una vez visualizados los transectos se procedió a revisar y depurar todos los errores o valores anómalos. La depuración se realizó de manera manual ya que algunos puntos presentaban errores de tipo en las coordenadas, debiendo recurrir a la información original para reemplazar el valor correcto. También se encontraron puntos con ausencia de información de algunos campos como el de la profundidad o la fecha de muestreo por lo que se procedió a completar con los valores cercanos más coherentes consultando a los dueños de los datos, en particular a la cátedra de Cambio Climático de la Facultad de Biología.

Luego de la depuración de los datos se realizó el proceso vectorial de dividir la capa según el valor del campo "año", por lo que resulto en una capa por año. Nótese que esta división podría realizarse con cualquier otro valor de campo que se necesitara.

Una vez ingresado el archivo CSV se puede exportar a shape file o geojson como vamos a ver posteriormente.

Es importante organizar la mayor cantidad de datos ya que una vez establecidos y depurados podremos acceder a consultas o filtros útiles para analizar los datos con mayor detalle.

Si accedemos al constructor de consultas de QGIS podremos programar un filtro como se ve a continuación.

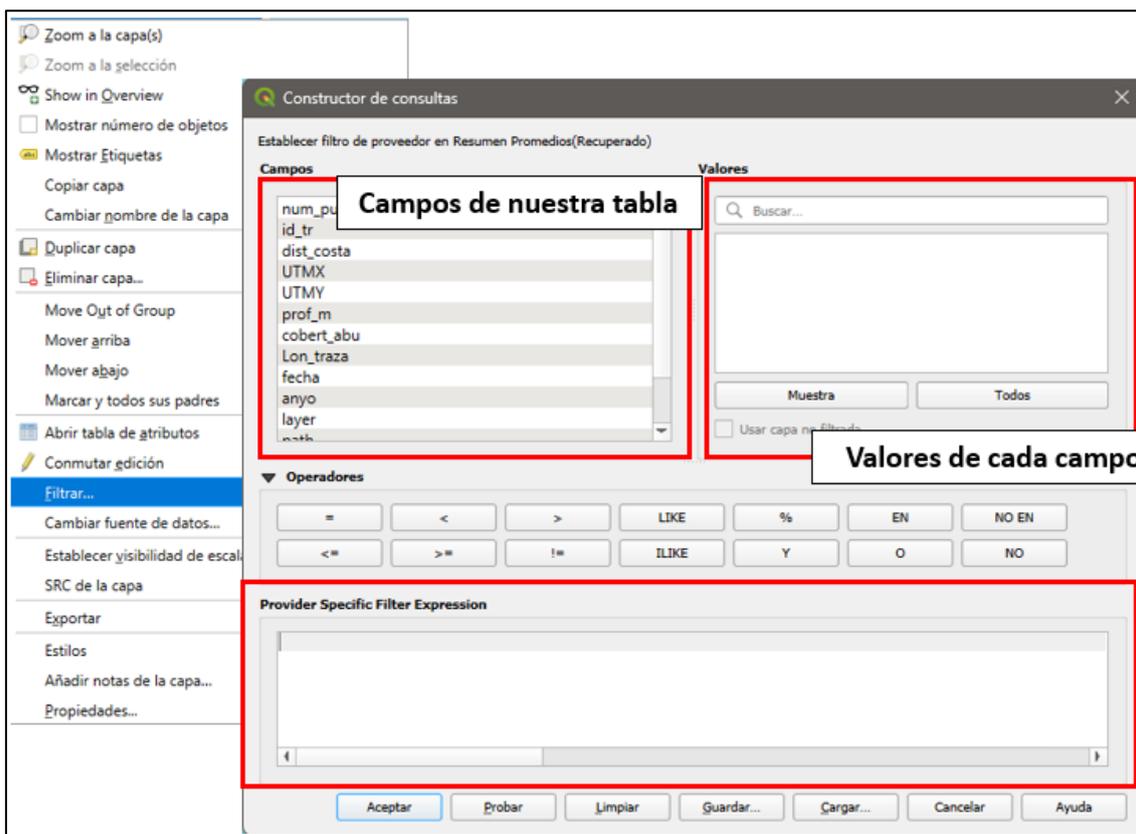


Ilustración 6. Constructor de consultas de QGIS.

Se puede construir consultas como:

Consulta número 1.

Mostrar todos los transectos que comiencen con T1, T2, T3, etc. 1ue tienen un valor de abundancia mayor a 3.

Resumen Promedios(Recuperado)—Objetos Totales: 276, Filtrados: 276, Seleccionados: 0

m_pur	id_tr	dist_costa	UTMX	UTMY	prof_m	cobert_abu	Lon_traza	fecha	anyo	layer	path	prom_ab_anyo	prom_prof	
1	12	T1-850-10	850	659546	4825482	12.4	1	850	15/05/2010	2010	id_tr_T1-850-10	C:/Users/L...	3.5	6.675
2	8	T5-450-10	450	685866	4826439	16.6	1	550	30/05/2010	2010	id_tr_T5-450-10	C:/Users/L...	3.222222222	11.06666667
3	9	T5-550-10	550	685866	4826539	24.6	1	550	30/05/2010	2010	id_tr_T5-550-10	C:/Users/L...	3.222222222	11.06666667
4	11	T7-750-11	750	703407	4827391	20.2	1	860	10/07/2011	2011	id_tr_T7-750-11	C:/Users/L...	3.25	8.891666667
5	12	T7-860-11	860	703347	4827421	22.1	1	860	10/07/2011	2011	id_tr_T7-860-11	C:/Users/L...	3.25	8.891666667
6	1	T8-0-15	0	706492	4826181	0.7	1	650	01/10/2015	2015	id_tr_T8-0-15	C:/Users/L...	3.1	8.02
7	8	T5-450-21	450	685866	4826439	15.6	1	550	02/08/2021	2021	id_tr_T5-450-21	C:/Users/L...	3.333333333	8.84
8	11	T1-750-10	750	659546	4825382	10	2	850	15/05/2010	2010	id_tr_T1-750-10	C:/Users/L...	3.5	6.675
9	10	T2-650-10	650	665147	4826853	12.4	2	650	20/05/2010	2010	id_tr_T2-650-10	C:/Users/L...	3.3	5.705
10	6	T6-250-10	250	692082	4827151	5.2	2	550	05/06/2010	2010	id_tr_T6-250-10	C:/Users/L...	3.333333333	7.333333333
11	12	T7-860-10	860	703347	4827421	22.1	2	860	10/06/2010	2010	id_tr_T7-860-10	C:/Users/L...	3.583333333	8.891666667
12	11	T1-750-11	750	659546	4825382	10	2	850	11/06/2011	2011	id_tr_T1-750-11	C:/Users/L...	3.583333333	6.675
13	12	T1-850-11	850	659546	4825482	12.4	2	850	11/06/2011	2011	id_tr_T1-850-11	C:/Users/L...	3.583333333	6.675
14	6	T6-250-11	250	692082	4827151	5.2	2	550	08/07/2011	2011	id_tr_T6-250-11	C:/Users/L...	3.222222222	7.333333333
15	10	T7-650-11	650	703498	4827349	18.5	2	860	10/07/2011	2011	id_tr_T7-650-11	C:/Users/L...	3.25	8.891666667
16	8	T3-450-14	450	673751	4826364	14.4	2	650	11/09/2014	2014	id_tr_T3-450-14	C:/Users/L...	3.4	10.95
17	8	T3-450-15	450	673751	4826364	14.2	2	650	11/09/2015	2015	id_tr_T3-450-15	C:/Users/L...	3.5	10.79
18	10	T3-650-15	650	673865	4826527	16.5	2	650	11/09/2015	2015	id_tr_T3-650-15	C:/Users/L...	3.5	10.79

Figura 5. Parte de la tabla de atributos filtrada a través del constructor de consultas.



Figura 6. Visualización del resultado de aplicar el filtro número 1. Transectos con promedio anual de abundancia > 3.

## Consulta número 2:

Identificar puntos de muestreo que están dentro de un área geográfica específica, tienen una profundidad mayor a 15 metros y muestran un nivel de abundancia promedio anual mayor o igual a 3.5 lo cual se considera elevado.

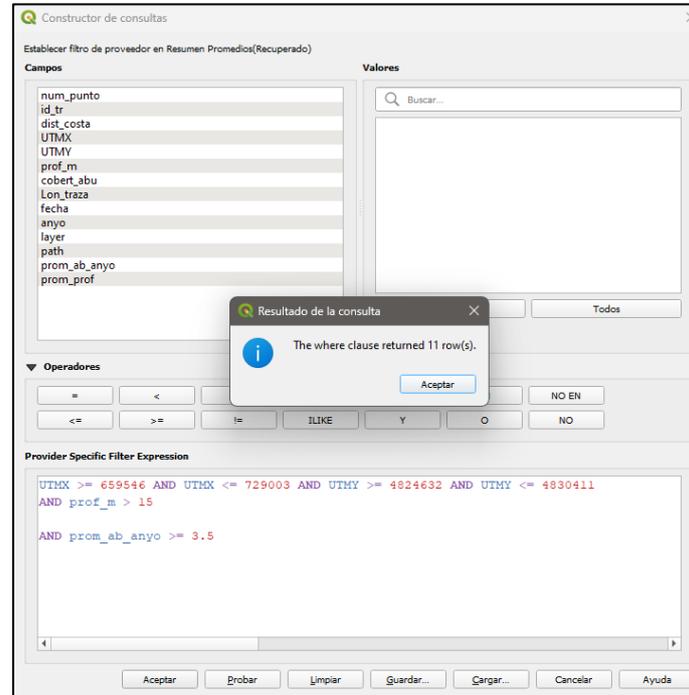


Figura 7. Constructor de consultas de QGIS. Arroja un resultado de 11 filas para el filtro aplicado.



Figura 8. Resultado de aplicar el filtro 2. Podemos ver que solo T3, T4, T5, T6 y T7 cumplen con esa condición.

#### 4.4 Exportación de datos a al SIG WEB

En este apartado vamos a explicar cómo se llevó la información geográfica a la Web.

En primer lugar, se procedió a tener a disposición todas las capas en formato GeoJson exportándolas desde QGIS. Con esto hacemos más accesible la información para los servidores ya que es un archivo mejor adaptado para el entorno Web.

- a) Configuración de OpenLayers: Se realizó la instalación y configuración básica de OpenLayers, Se importaron los datos geoespaciales y se crearon capas para la visualización de los puntos de muestreo. Para empezar se procedió a la descarga e instalación de Node.js desde el sitio oficial: <https://nodejs.org/en/download/prebuilt-installer>.

Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript del lado del servidor que permite a los desarrolladores construir aplicaciones de red escalables y eficientes. Node.js permite la ejecución de código JavaScript fuera de un navegador, lo que facilita el desarrollo de aplicaciones backend, servicios web, y APIs.

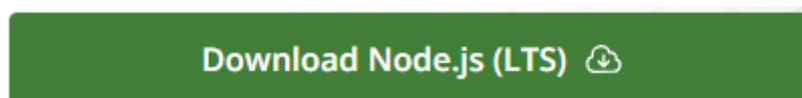


Figura 9. Botón de descarga del instalador de Node.js. Link oficial: <https://nodejs.org/en/download/prebuilt-installer>.

Una vez instalado el npm, es posible desde su entorno realizar instalaciones de paquetes, procediendo a instalar entonces OpenLayers.

```
C:\Windows\System32\cmd.e
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3737]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\TFM\mapa_transectas> npm install ol
```

Creamos entonces una aplicación OL.

```
C:\Windows\System32\cmd.e
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3737]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

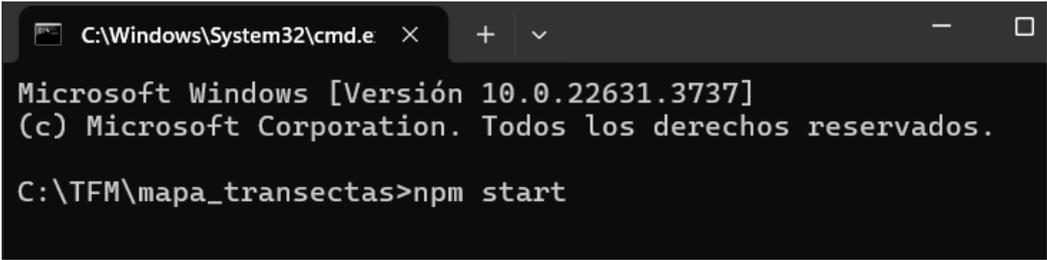
C:\TFM\mapa_transectas> npm create ol-app
```

La instalación crea automáticamente un entorno de trabajo formado por un fichero java, un fichero html y un fichero css, así como diferentes carpetas con

ficheros de referencia de OpenLayers. Al iniciar la aplicación ya podemos visualizar un primer mapa.

- b) **Diseño de la Interfaz Web:** Se desarrolló una interfaz de usuario interactiva que permite a los usuarios explorar los datos mediante herramientas de navegación y visualización, como zoom y paneo, así como selectores de capas que facilitan la exploración de diferentes aspectos de los datos.

Aquí ya ponemos en marcha el visor.



```
C:\Windows\System32\cmd.e x + v - □
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3737]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\TFM\mapa_transectas>npm start
```

Los ficheros creados se muestran a continuación.



Ilustración 7. Ficheros creados al ejecutar OL en la carpeta indicada.

El archivo **index.html** proporciona la estructura básica de la página web y define dónde se muestra el mapa. El archivo **main.js** contiene el código JavaScript que inicializa y configura el mapa de OpenLayers, gestionando la lógica de visualización e interacción con los datos geoespaciales. Finalmente, el archivo **styles.css** contiene los estilos CSS que determinan la apariencia visual de la aplicación, incluyendo el diseño del mapa y los elementos de la interfaz. Juntos, estos archivos forman la base de una aplicación web que utiliza OpenLayers para la visualización de mapas.



*Ilustración 8. Open Layers con la estructura que trae por defecto.*

#### 4.4.1. Desarrollo del SIG Web con OpenLayers

En este apartado vamos a describir como se procedió para construir el visor web desde los archivos base hasta las funcionalidades finales.

##### A. PREPARATIVOS Y CONFIGURACIÓN

###### 1. Preparación de Datos Geoespaciales

Los datos digitalizados se convirtieron en un formato compatible con OpenLayers, como GeoJSON, asegurando que los datos georreferenciados estén listos para su integración en la plataforma web.

Es importante en esta etapa verificar los sistemas de coordenadas y los sistemas de referencia en los cuales están las capas.

###### 2. Configuración de OpenLayers

**Instalación de OpenLayers:** Se descargó e instaló OpenLayers, una biblioteca de JavaScript para el desarrollo de aplicaciones SIG web. Se configuró el entorno de desarrollo web, incluyendo HTML, CSS y JavaScript, para crear una interfaz interactiva y funcional.

##### B. IMPLEMENTACIÓN DEL SIG WEB

Luego de introducir las tablas CSV a QGIS y organizar la información, se procedió a exportarlas desde ese mismo software, como ya se mencionó anteriormente, al formato geojson. Dicho formato está basado en JSON para representar datos geoespaciales. Su principal ventaja para aplicaciones SIG web es su simplicidad y fácil integración para visualizar datos geográficos en aplicaciones web.

Una vez obtenidos los archivos geojson, se organizaron en carpetas y se etiquetaron específicamente para que posteriormente se identifiquen rápidamente en el código.

A continuación, se detallan los campos, los tipos de datos y una descripción de cada uno de los campos (Tabla 2).

Tabla 2. Campos y tipos de datos de los valores de campo.

Campo	Tipo	Descripción
num_punto	Numérico Discreto	Número del punto del transecto
id_tr	Texto	Identificación única del transecto
dist_costa	Numérico Discreto	Distancia desde la costa al punto del transecto
UTMX	Numérico Discreto	valor de coordinando en X en el sistema UTM
UTMY	Numérico Discreto	valor de coordinando en Y en el sistema UTM
prof_m	Numérico Decimal	Profundidad del muestreo puntual
cobert_abu	Numérico Discreto	Valor de abundancia puntual
Lon_traza	Numérico Discreto	Longitud total del transecto
fecha	Texto	Fecha del relevamiento
anyo	Numérico Discreto	Año del relevamiento
prom_ab_anyo	Numérico Decimal	Promedio de abundancia por transecto por año
prom_prof	Numérico Decimal	Promedio de profundidad por transecto por año

### 1. Entorno de trabajo

Lo primero para diseñar el SIG WEB es crear el entorno html de trabajo, siendo la parte básica el divisor de mapa y el divisor de la ventana emergente o PopUp que se colocó dentro de la parte *body* del fichero html:

```
<div id="map" class="map"></div>
<div id="popup" class="ol-popup">
  <a href="#" id="popup-closer" class="ol-popup-closer"></a>
  <div id="popup-content"></div>
</div>
```

Así mismo, otra parte necesaria en este fichero html será la llamada al fichero de código java que tenemos en nuestro directorio de trabajo el cual ejecutará las ordenes de acuerdo a la biblioteca de OpenLayers:

```
<script type="module" src="./main.js"></script>
```

## 2. Fichero Java

En este fichero `main.js` se importará, inicialmente, todas las bibliotecas de OpenLayers necesarias para el funcionamiento del código. Sirva como ejemplo el siguiente código, que se corresponde con la llamada a los controles predeterminados que tendría el mapa:

```
import Attribution from 'ol/control/Attribution';
import MousePosition from 'ol/control/MousePosition';
import ZoomToExtent from 'ol/control/ZoomToExtent';
import OverviewMap from 'ol/control/OverviewMap';
```

El mapa, *map*, elemento principal del fichero `main.js` tendrá definido un centro, una vista y se le podrán agregar los citados controles predeterminados:

```
const map = new Map({
  target: 'map',
  view: view,
  controls: defaultControls().extend([
    new Attribution(),
    new MousePosition({
      coordinateFormat: toStringHDMS,
      projection: 'EPSG:4326',
    }),
    new ZoomToExtent({
      extent: [-787930, 5365816, -685561, 5422352],
    }),
    new OverviewMap({
      layers: [new TileLayer({
        source: new XYZ({
          url:
            'https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}',
        })],
    })],
  )],
});
```

El mapa base utilizado es el de OpenStreetMap, introducido con el código:

```
const osmLayer = new TileLayer({
  title: 'OpenStreetMap',
  type: 'base',
  visible: true,
  source: new OSM(),
});
```

### 2.1. Adición de capas Geojson

Las diferentes capas son creadas para su posterior visualización de acuerdo con su formato, geojson y añadiendo, a su vez, algunas características de estilo. Sirva como ejemplo la capa correspondiente a los transectos de 2009:

```
const transectos2009Layer = new VectorLayer({
  source: new VectorSource({
    url:
'./capas_geojson/CampañaXaños/anyo_2009.geojson'',
    format: new GeoJSON(),
  }),
  style: new Style({
    image: new CircleStyle({
      radius: 5,
      fill: new Fill({ color: 'yellow' }),
      stroke: new Stroke({
        color: 'black',
        width: 1.5,
      }),
    }),
  }),
  title: 'Campaña 2009'
});
```

### 2.2. Adición de una ventana emergente o Pop Up.

Además, se incluyó una ventana emergente. Esto permite que los usuarios de la página web visualicen la información de la entidad puntual. Para ello se creó un elemento

*overlay* que se añadió al mapa. Además, con el evento de *'singleclick'* se inicia la ventana emergente según:

```
map.addOverlay(overlay);
map.on('singleclick', function (evt) {
    let foundFeature = false;
    map.forEachFeatureAtPixel(evt.pixel, function (feature,
layer) {
```

### 2.3. Contenido de la ventana emergente

El fragmento de código que se utilizó para asignar los elementos mostrados en esta ventana es el siguiente:

```
<div>
<p><strong>Transecto:</strong> ${id_tr} </p>
<p><strong>Distancia a la Costa:</strong>  ${dist_costa}
m</p>
<p><strong>Profundidad de Muestreo:</strong>  ${lprof_m}
m</p>
<p><strong>Fecha de Muestra:</strong>  ${fecha}</p>

</div>
```

### 2.4. Inserción de un control de capas

Por último, se utilizó el complemento *LayerSwitcher* de OpenLayers, que permite crear un control de capas en la que el usuario podrá activar o desactivar las capas. Para ello, usará el dato *"Title"* dado que cada una de las variables introducidas creando por un lado un grupo de mapas base y por otro el grupo de capas principales del trabajo: los transectos.

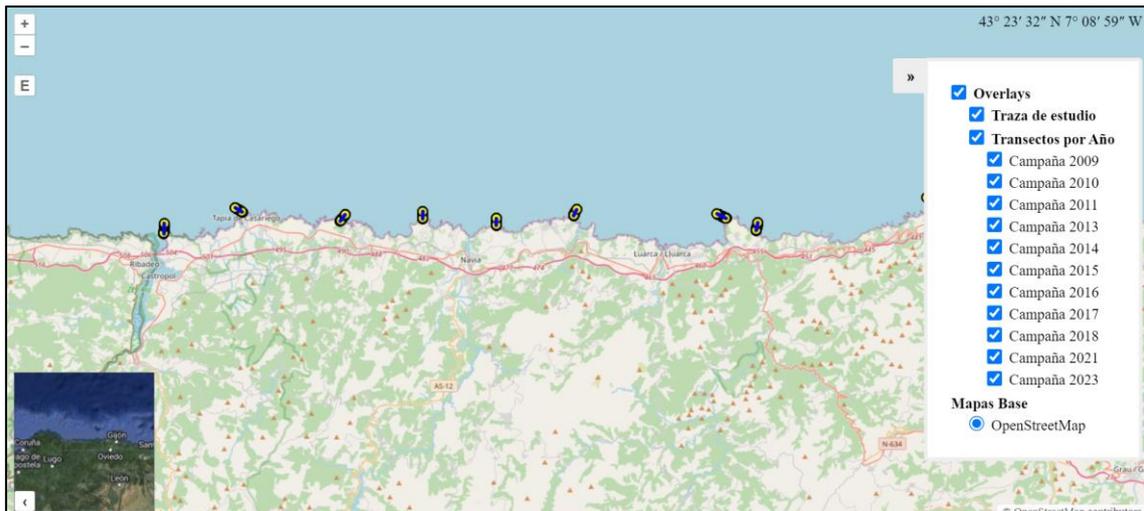


Figura 10. Captura del SIG Web con el control de capas desplegado.

## 2.5. Fichero de estilos CSS

Como complemento a estos ficheros, se definió un fichero css donde se incluyeron estilos para las entidades. Sirva como ejemplo la ventana emergente, cuyas características específicas fueron definidas en este fichero tal y como se muestra a continuación:

```
.ol-popup {
  position: absolute;
  background-color: white;
  padding: 15px;
  border: 1px solid black;
  bottom: 12px;
  left: -50px;
  min-width: 200px;
}
```

## 5. Resultados

Se presenta la tabla final con los datos georreferenciados y digitalizados. Los datos se comparan con la información original en imágenes, destacando las mejoras en precisión y la facilidad de acceso a la información digitalizada. Esto permite una mayor eficiencia en el análisis y la toma de decisiones.

### 5.1 SIG de Escritorio

Se incluyen capturas de pantalla de la visualización de datos en QGIS, mostrando cómo los puntos de muestreo y las capas temáticas se presentan en el SIG de escritorio. Se describen los análisis realizados, como la identificación de patrones en la distribución de Laminarias, y se destacan los principales hallazgos y tendencias observadas.

Organización del panel de capas en el SIG de escritorio QGIS ordenado por Año/Transecto/punto (Figura 10).

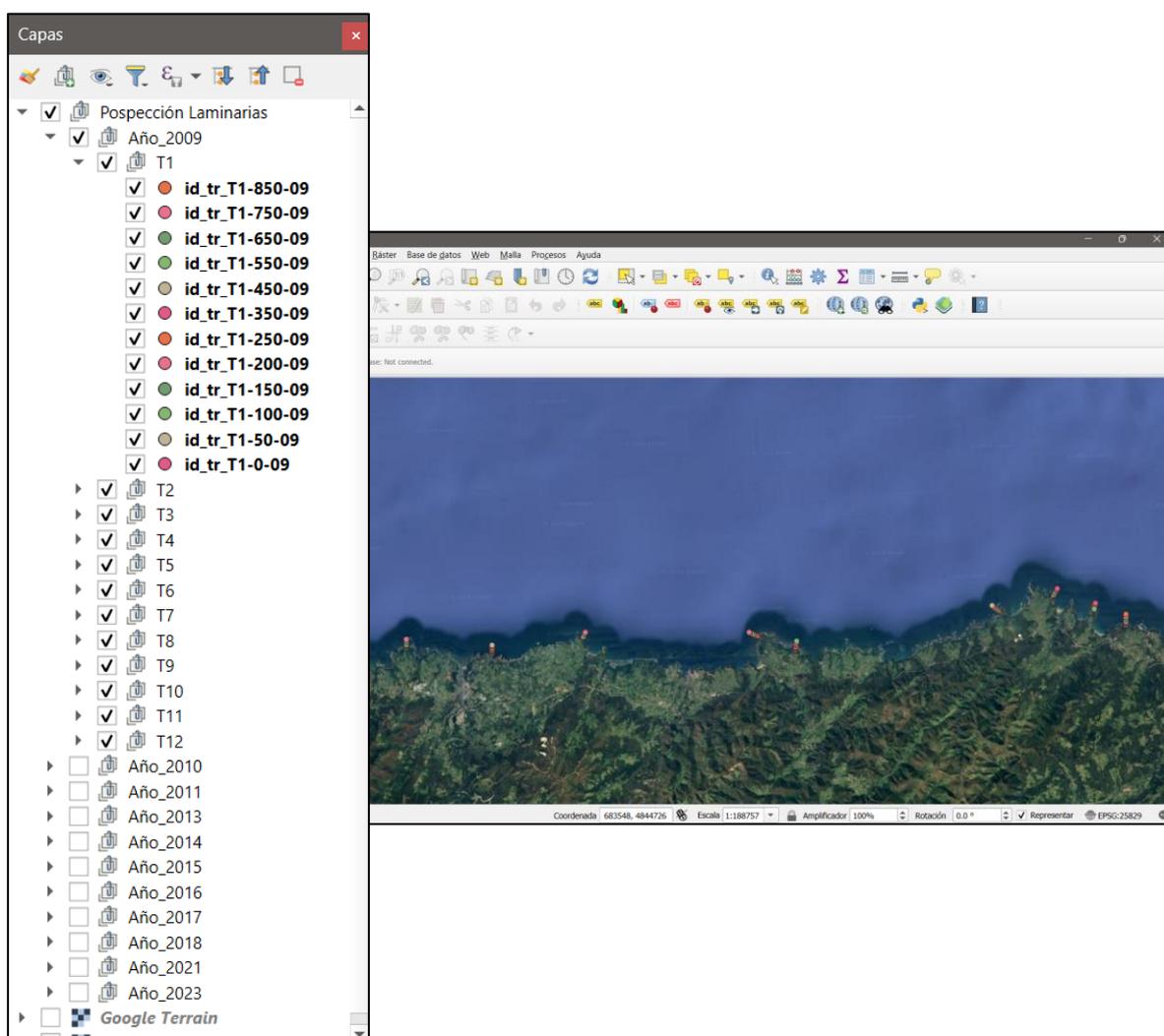


Figura 11. Panel de capas en QGIS.

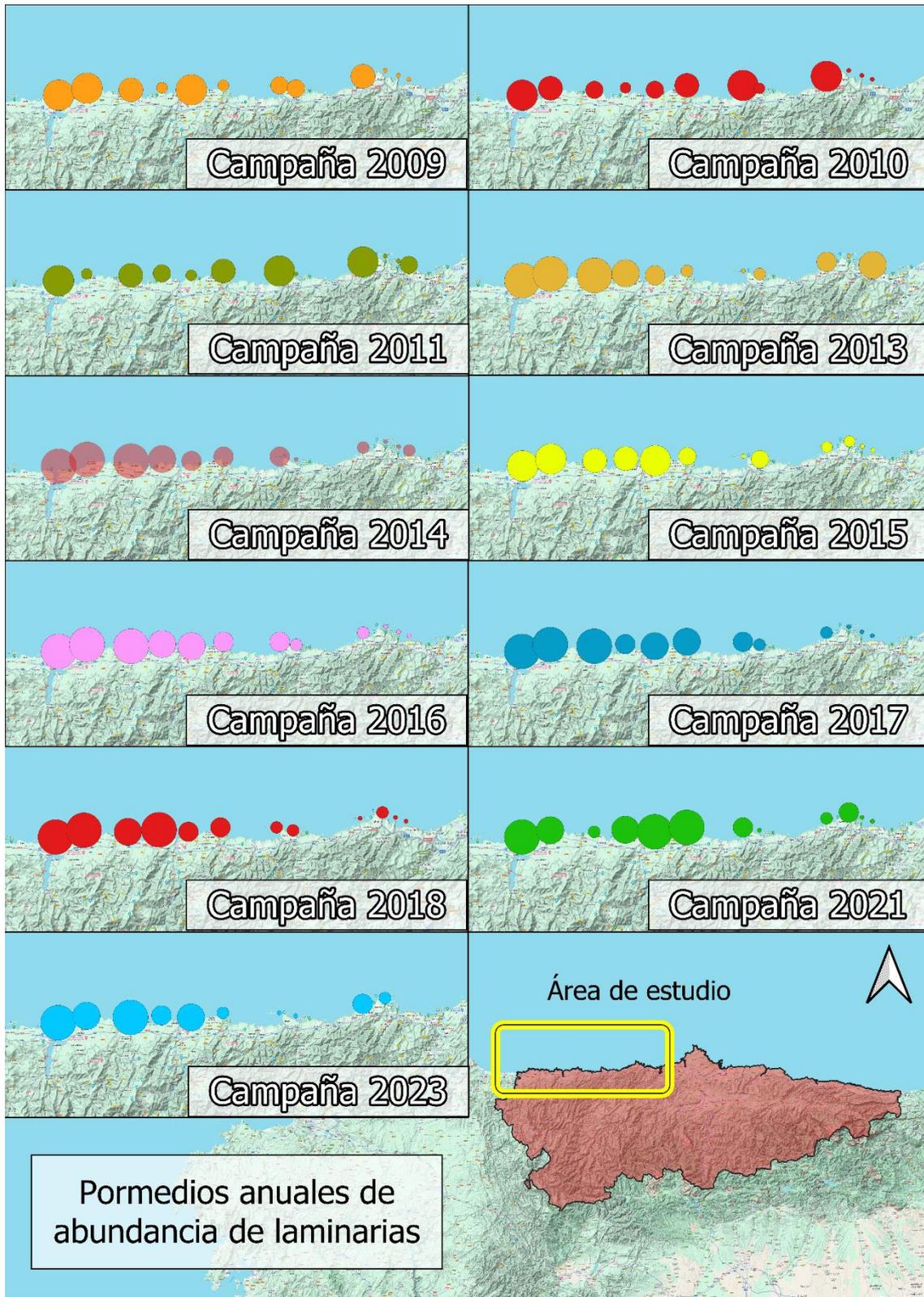


Figura 12. Promedio de abundancia anual por transecto.

Como se observa en la figura 11 es evidente la disminución del promedio de abundancia en los últimos transectos T9, T1, T11, T12 a partir del año 2014 en adelante.

## 5.2 SIG Web

Se muestran capturas de pantalla del SIG web y su interfaz interactiva. Se describen las funcionalidades implementadas, como la visualización de capas y herramientas de navegación.

Se puede observar en la figura 12 los transectos y el panel de capas desplegado. También se colocó un botón de zoom para visualizar los 12 transectos y tener una visión general de la zona de estudio.

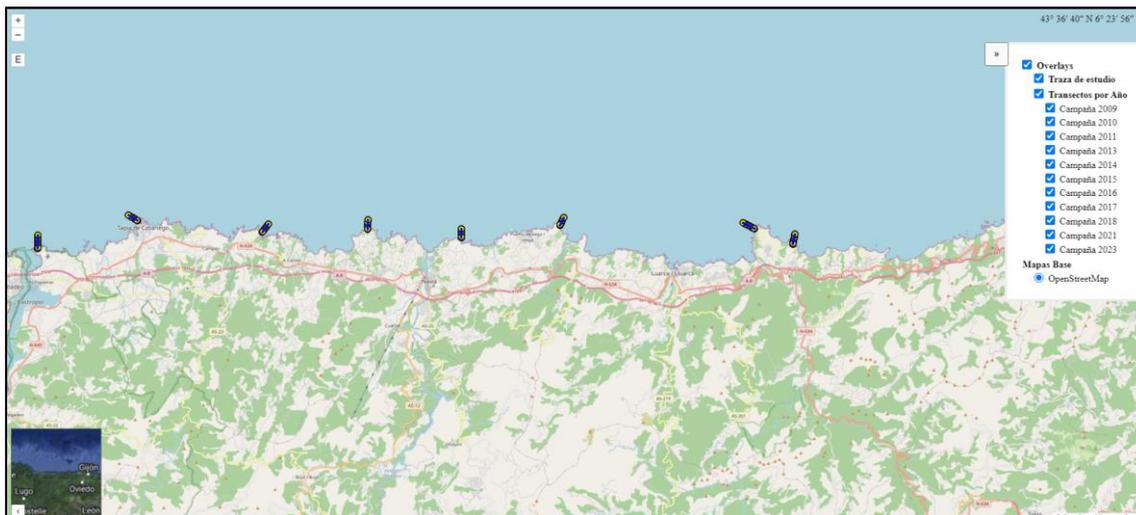


Figura 13. Captura general del SIG Web.

En la siguiente figura se detalla el uso de un “pop up” que es una ventana que emerge al hacer click sobre uno de los puntos de cada año de cada transecto para obtener los datos específicos como profundidad de muestreo, fecha e identificación, acompañado por un registro fotográfico de la zona.

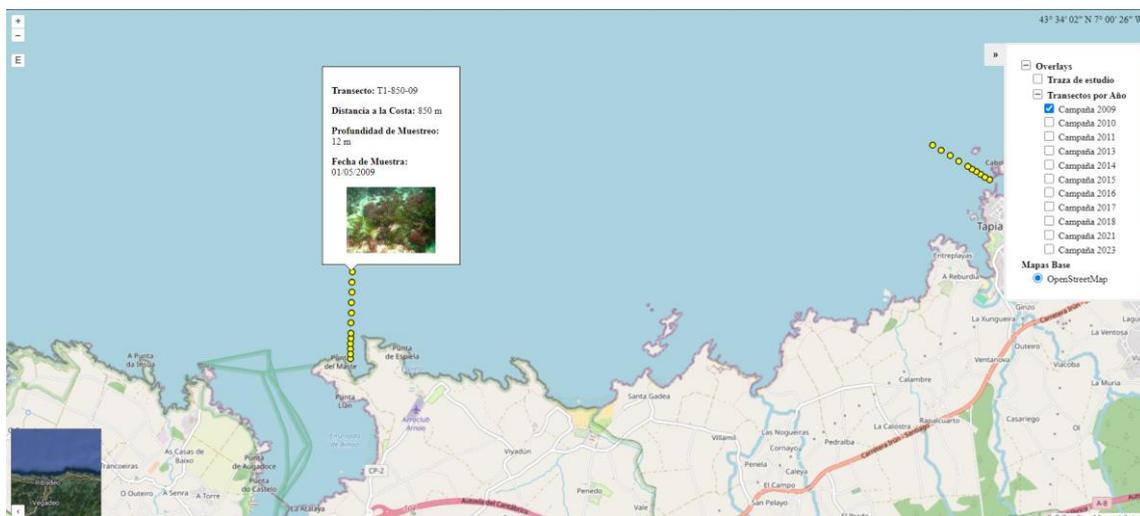
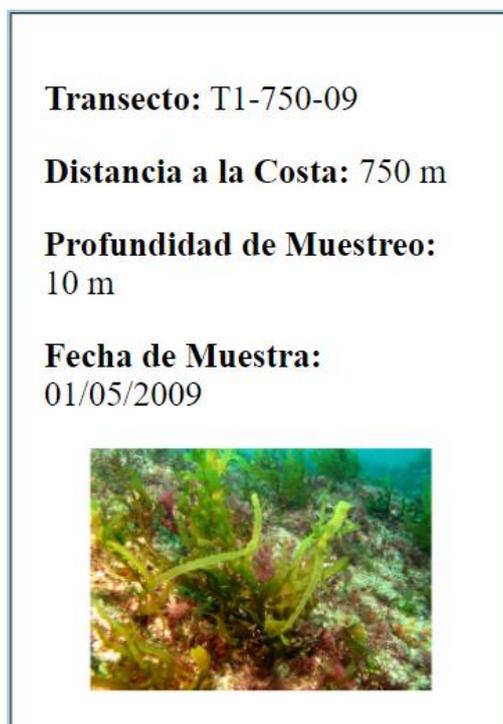


Figura 14. Detalle del transecto 1 de la campaña 2009 del muestreo a 850 m de la costa.

Donde se colocan los rótulos de la información que se quiere visualizar (en azul) y el campo que debe usar de la base de datos (en rojo).

Cabe destacar que en la última línea cada imagen de cada muestreo del estudio se identificó exactamente con cada punto de la base de datos, por lo tanto, cada imagen se va a vincular a través de su identificación. Por lo tanto, cada fotografía fue renombrada y organizada de manera manual en el directorio correspondiente.



*Figura 15. Detalle del PopUp con la información indicada en el código.*

## 6. Conclusiones

### 6.1 Sistemas de Información Geográficos

La digitalización y estructuración de datos históricos es esencial para el análisis geoespacial y la gestión ambiental. El entorno creado en el SIG de Escritorio permite un trabajo dinámico y eficiente con la información, que beneficiará a todos los investigadores involucrados en esta investigación. Por otro lado, el SIG web desarrollado proporciona una herramienta accesible y fácil de usar que facilita la visualización y el análisis de datos, beneficiando tanto a la comunidad académica como a los gestores ambientales.

Es innegable que, se debe reflexionar sobre la importancia de la actualización continua. Se recomienda continuar enriqueciendo la base de datos geoespacial con nueva información para mantener el SIG actualizado y relevante. Además, aquellos datos nuevos, deberán generarse en una forma que asegure su inclusión en el SIG de forma eficiente y precisa.

### 6.2 Estudio de la prospección de laminarias

Sería de vital importancia contar con datos de temperatura para analizar patrones y así construir modelos de predicciones más certeros en cuanto a la variación de temperatura del agua.

Además, se podría relacionar con los organismos que consumen este tipo de algas y, en especial, el erizo de mar y la relación que establece con la propagación de los bosques acuáticos.

Por último, contar con datos antropológicos de la actividad pesquera, posibilita la investigación sobre la incidencia la propagación de los bosques de laminaria.

## 7. Referencias Bibliográficas

QGIS.org, 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 13 de octubre de 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 19 de junio de 2024.

Thomas, D. 2002. Seaweeds. The Natural History Museum, London, p. 15. ISBN 0 565 091751

Rowland, Alexandra; Folmer, Erwin; Beek, Wouter (2020). "Hacia un SIG de autoservicio: combinación de lo mejor de la web semántica y el SIG web". *Revista internacional de información geográfica de ISPRS*.9(12): 753. Código bibliográfico:2020IJGI....9..753R. doi: 10.3390/ijgi9120753.

J. Pérez-Rubín (editor, 2014): 100 años investigando el mar. *El Instituto Español de Oceanografía en su centenario (1914-2014)*, 500 pp. [ISBN: 978-84-95877-50-5. Depósito legal: M-14891-2014. NIPO: 727-14-001-3].