



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Elaboración de una base de datos con información
oceanográfica para la evaluación de la vulnerabilidad costera en
Galicia*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Santiago Gómez Núñez

DIRECTOR: Iván Puente Luna

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Elaboración de una base de datos con información
oceanográfica para la evaluación de la vulnerabilidad costera en
Galicia*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

Las zonas costeras se ven amenazadas por los efectos del cambio climático, con un incremento progresivo del nivel del mar que provoca inundaciones y una mayor vulnerabilidad de sus poblaciones. El presente Trabajo Fin de Grado está orientado a la elaboración de una base de datos con información oceanográfica para la evaluación local del grado de vulnerabilidad costera en Galicia. Para ello, se identifican y se recopilan las variables oceanográficas que más afectan a la costa, tales como la dirección y velocidad del viento, el oleaje, el nivel del mar o la dirección y velocidad de la corriente. Estos datos se descargan de forma gratuita a través de diferentes fuentes abiertas como Puertos del Estado, el Instituto Geográfico Nacional o la página oficial de la Xunta de Galicia.

Junto a la información de la pendiente costera y utilizando herramientas SIG que permiten un manejo eficiente de la información, se calculará el Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV) considerando seis variables en conjunto, en cuatro zonas de estudio de la costa gallega. Bajo este criterio, se intenta evaluar la susceptibilidad del espacio costero gallego ante esas variables, constituyendo un valioso instrumento para la gestión costera.

PALABRAS CLAVE

ICV, SIG, Galicia, Bases de datos, Cartografía costera

AGRADECIMIENTOS

En primer y más importante lugar quiero agradecer a mis padres, Ana María Núñez Cañas y Julio Gómez de Pablo y a mi hermano Víctor Gómez Núñez, por haber estado siempre apoyándome, aconsejándome y creyendo en mí durante estos 5 años y todos los anteriores, sin ellos no habría conseguido entrar en la Escuela Naval Militar y mucho menos terminarla. A toda mi familia, mis abuelos y mis tíos, por ser mi apoyo fundamental.

También quiero agradecer a todos mis compañeros de la promoción 422-152 con los que he compartido los buenos y los malos momentos, en especial a Mariano Ugarte Zarco a quién le debo la mitad de mis créditos de esta carrera, y a Pablo Rosano Bernal quien me ha ayudado con la otra mitad de los créditos, sin olvidarme de Pedro Liarte Cabrera quien siempre ha ofrecido el apoyo moral necesario.

Agradecer a mi tutor Iván Puente Luna por el seguimiento en este trabajo y su ayuda.

Y, por último, pero no menos importante a todos mis amigos que siempre han estado apoyando cuando les necesitaba.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Motivación y justificación	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivos generales.....	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
2 Estado del arte	11
2.1 Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV)	11
2.2 La vulnerabilidad en diferentes tipos de costa	17
2.3 Las bases de datos	17
2.3.1 Tipos de bases de datos.....	18
2.3.2 Modelos de bases de datos.....	20
2.4 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	23
2.4.1 ¿En qué consiste un SIG?	24
2.4.2 Herramientas del SIG	25
2.4.3 Las capas.....	29
2.4.4 Funciones de análisis espacial	29
2.4.5 Aplicaciones de los SIG.....	32
3 Desarrollo del TFG.....	35
3.1 Introducción	35
3.2 Criterios de selección y fuentes de información	36
3.2.1 Variables oceanográficas	36
3.2.2 Fuentes de datos geográficos	37
3.3 Herramientas de trabajo	41
3.3.1 GvSIG	41
3.3.2 ArcMap	46
3.4 Descripción de la metodología.....	48
3.4.1 Capa de Galicia.....	48
3.4.2 Viento	51
3.4.3 Corriente	59
3.4.4 Oleaje	62

3.4.5 Nivel del mar	64
3.4.1 Pendiente de la costa.....	65
3.5 Selección del área de influencia.....	67
4 Resultados	73
4.1 Variables oceanográficas	73
4.1.1 Corriente	73
4.1.2 Oleaje	77
4.1.3 Viento	79
4.1.4 Nivel del mar	82
4.1.5 Pendiente de la costa.....	84
4.2 Cálculo del ICV	85
5 Conclusiones y líneas futuras	89
5.1 Conclusiones	89
5.2 Líneas futuras	90
6 Bibliografía.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Ejemplo de la modificación de Gornitz [9]	13
Figura 2-2 Variables consideradas para cálculo de ICV y su rango de valores [12].....	15
Figura 2-3 Variables consideradas para el cálculo del ICV [13].....	16
Figura 2-4 Logotipo Excel y Access [20]	18
Figura 2-5 Base de datos estática utilizada por un cliente mediante la computadora [22]	19
Figura 2-6 Base de datos dinámica [23]	19
Figura 2-7 Ejemplo base de datos bibliográfica [25]	20
Figura 2-8 Ejemplo de biblioteca de información química y biológica [27]	20
Figura 2-9 Ejemplo de base de datos jerárquica [29]	21
Figura 2-10 Representación base de datos de red [31].....	21
Figura 2-11 Representación SGBD [55]	23
Figura 2-13 Representación de separación de capas [38]	25
Figura 2-14 Ejemplo de límite entre regiones [40]	25
Figura 2-15 Representación de estudio para transportes [40]	26
Figura 2-16 Representación de la información que contiene un mapa [40].....	26
Figura 2-17 Ejemplo de identificación de patrones en una ciudad [42].....	27
Figura 2-18 Representación del estado de ciertos lugares [42].....	27
Figura 2-19 Representación de la separación de capas [40].....	28
Figura 2-20 Utilización de SIG para trabajos de arqueología [40]	28
Figura 2-21 Ejemplo de superposición de capas [42]	29
Figura 2-22 Atributos de las capas [42]	29
Figura 2-23 Ejemplo de usos de los SIG para optimizar la comunicación entre dos puntos [40] ..	30
Figura 2-24 Ejemplo de uso de un SIG para realizar una medición [45].....	30
Figura 2-25 Uso de un SIG para conocer los parámetros de la superficie [48].....	31
Figura 2-26 Modelización de la Amazonia en el año 2030 [45]	32
Figura 2-27 Ejemplo de uso de SIG para determinar una ruta [50]	32
Figura 2-28 Ejemplo planificación obra civil [52]	33
Figura 3-1 Fases de la metodología seguida (Fuente propia).....	35
Figura 3-2 Desvanecimiento de los casquetes polares [57].....	36
Figura 3-3 Ejemplo de corrientes oceánicas [61]	37
Figura 3-4 Introducción a página web Puertos del Estado [62]	37
Figura 3-5 Datos ofrecidos por la organización Puertos del Estado [62].....	38
Figura 3-6 Distribución de las boyas de Puertos del Estado [62]	38

Figura 3-7 Centro de descargas de IGN [63].....	39
Figura 3-8 Productos dentro de la sección Información geográfica de referencia[63]	39
Figura 3-9 Ejemplo descarga de datos en la comunidad de Galicia [64]	40
Figura 3-10 Productos ofrecido en Información geográfica de Galicia [64].....	41
Figura 3-11 Icono de la herramienta gvSIG [50].....	42
Figura 3-12 Caja de herramientas de geoprocésamiento (Fuente propia).....	43
Figura 3-13 Filtrado de la provincia de Pontevedra (Fuente propia)	43
Figura 3-14 Intersección entre la capa de concellos y la capa de Pontevedra (Fuente propia).....	44
Figura 3-15 Área de influencia sobre la Ría de Pontevedra (Fuente propia)	45
Figura 3-16 Solape de varias zonas de influencia [67].....	45
Figura 3-17 Área de influencia de distancia fija de 40 metros sobre una línea (Fuente propia).....	46
Figura 3-18 Logotipo de ArcMap [69].....	47
Figura 3-19 Portal de descargas de la Xunta de Galicia [64]	48
Figura 3-20 Información ofrecida por el centro de descargas de la Xunta de Galicia[64]	49
Figura 3-21 Vista de la Comunidad Autónoma de Galicia dividida en provincias (Fuente propia) ..	49
Figura 3-22 Selección de las provincias de A Coruña, Lugo y Pontevedra (Fuente propia)	50
Figura 3-23 Capa temática Concellos de Galicia (Fuente propia)	50
Figura 3-24 Concellos de Galicia en las 3 provincias de interés para el estudio de la vulnerabilidad de la costa (Fuente propia).....	51
Figura 3-25 Datos ofrecidos por Puertos del Estado [62]	51
Figura 3-26 Localización de los datos ofrecidos por Puertos del Estado[62]	52
Figura 3-27 Puntos SIMAR con información relativa al viento [62].....	52
Figura 3-28 Datos descargados de Puertos del estado (Fuente propia).....	53
Figura 3-29 Transformación de Excel para representación en SIG (Fuente propia).....	54
Figura 3-30 Establecimiento de la referencia geográfica de los puntos SIMAR (Fuente propia) ...	54
Figura 3-31 Representación de los puntos SIMAR (Fuente propia)	55
Figura 3-32 Interpolación de la dirección del viento (Fuente propia).....	55
Figura 3-33 Reclasificación interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia).....	56
Figura 3-34 Reclasificación interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia).....	56
Figura 3-35 Reclasificación interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia).....	57
Figura 3-36 Dirección del viento en la costa gallega (Fuente propia)	57
Figura 3-37 Intersección de la dirección del viento y el área de influencia. (Fuente propia)	58
Figura 3-38 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)	58
Figura 3-39 Área de influencia en el Cabo Ortegal (Fuente propia).....	58
Figura 3-40 Área de influencia en Villanueva de Arosa (Fuente propia)	59
Figura 3-41 Velocidad del viento en la costa gallega (Fuente propia)	59

Figura 3-42 Formato de Excel para representar en <i>gvSIG</i> (Fuente propia).....	60
Figura 3-43 Boyas y su tabla de atributos en la costa de Galicia (Fuente propia)	60
Figura 3-44 Velocidad de la corriente en la costa gallega (Fuente propia).....	61
Figura 3-45 Dirección de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)	61
Figura 3-46 Distribución de los nodos SIMAR [62]	62
Figura 3-47 Localización de los puntos seleccionados para la representación del oleaje en la costa gallega [70]	63
Figura 3-48 Régimen extremal del oleaje (Fuente propia).....	63
Figura 3-49 Régimen extremal del oleaje en la Ría de Pontevedra (Fuente propia).....	64
Figura 3-50 Puntos SIMAR seleccionados [62].....	64
Figura 3-51 Transformación de Excel para representación SIG (Fuente propia)	65
Figura 3-52 Nivel del mar en la costa gallega (Fuente propia)	65
Figura 3-53 Hojas MNTN50 en Galicia [76]	66
Figura 3-54 Modelo seleccionado para el estudio de las pendientes [63].....	66
Figura 3-55 Hojas MTN50 en la costa gallega (Fuente propia).....	67
Figura 3-56 Capa pendientes, hoja de Pontevedra 4-10 185 (Fuente propia)	67
Figura 3-57 Selección de parámetros en el área de influencia (Fuente propia)	68
Figura 3-58 Áreas de influencia seleccionadas (Fuente propia)	68
Figura 3-59 Marín (Ría de Pontevedra) [72].....	69
Figura 3-60 Playa de Baldaio [72]	69
Figura 3-61 Cabo Ortegal [72]	69
Figura 3-62 Villanueva de Arosa [72].....	70
Figura 3-63 Área de influencia en la Ría de Pontevedra (Fuente propia)	70
Figura 3-64 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)	70
Figura 3-65 Área de influencia en el Cabo Ortegal (Fuente propia).....	71
Figura 3-66 Área de influencia en Villanueva de Arosa (Fuente propia)	71
Figura 4-1 Boyas y su tabla de atributos en la costa de Galicia (Fuente propia)	74
Figura 4-2 Velocidad de la corriente en la costa gallega (Fuente propia).....	74
Figura 4-3 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)	75
Figura 4-4 Tabla de atributos de la velocidad de la corriente en el área de influencia (Fuente propia)	75
Figura 4-5 Escala clasificación velocidad de la corriente en la playa de Baldaio (Fuente propia) ..	75
Figura 4-6 Dirección de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)	76
Figura 4-7 Intersección área de influencia con la dirección de la corriente en la playa de Baldaio (Fuente propia).....	76
Figura 4-8 Tabla de atributos dirección de la corriente en el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia).....	76

Figura 4-9 Escala clasificación dirección de la corriente (Fuente propia)	77
Figura 4-10 Oleaje en la costa gallega (Fuente propia).....	77
Figura 4-11 Oleaje en la Ría de Pontevedra (Fuente propia)	78
Figura 4-12 Intersección del oleaje con el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)	78
Figura 4-13 Tabla de atributos del oleaje en la zona de influencia en la playa de Baldoio (Fuente propia)	78
Figura 4-14 Escala clasificación oleaje (Fuente propia)	79
Figura 4-15 representación de los puntos SIMAR (Fuente propia)	79
Figura 4-16 Dirección del viento en la costa gallega (Fuente propia)	80
Figura 4-17 Intersección del área de influencia con la capa de dirección del viento en la playa de Baldaio (Fuente propia)	80
Figura 4-18 Tabla de atributos de la dirección del viento en el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)	80
Figura 4-19: Escala clasificación dirección del viento (Fuente propia)	81
Figura 4-20 Velocidad del viento en la costa gallega (Fuente propia).....	81
Figura 4-21 Intersección del área de influencia con la capa de velocidad del viento (Fuente propia)	82
Figura 4-22 Tabla de atributos de la velocidad del viento el el área de influencia (Fuente propia)	82
Figura 4-23 Escala clasificación velocidad del viento (Fuente propia)	82
Figura 4-24 Nivel del mar en la costa gallega (Fuente propia)	83
Figura 4-25 Intersección del nivel del mar con el área de influencia (Fuente propia).....	83
Figura 4-26 Tabla de atributos del nivel del mar en el área de influencia (Fuente propia).....	84
Figura 4-27 Escala clasificación nivel del mar (Fuente propia).....	84
Figura 4-28 Intersección de la capa de pendientes con el área de influencia (Fuente propia)	84
Figura 4-29 Tabla de atributos de la capa de pendiente en el área de influencia (Fuente propia) ...	85
Figura 4-30 Escala de clasificación de la pendiente de la costa (Fuente propia).....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Criterio de Gornitz [7]	11
Tabla 2-2 Criterio de Gornitz modificado [9]	12
Tabla 2-3 Criterio de Gornitz con 7 variables [10]	13
Tabla 2-4 Criterio de Gornitz con 6 variables [11]	14
Tabla 2-5 Criterio de Gornitz con 8 variables [12]	14
Tabla 4-1 escala de clasificación según el resultado del ICV (Fuente propia)	86
Tabla 4-2 Escala de las diferentes variables estudiadas (Fuente propia)	86
Tabla 4-3 Valores del ICV en las distintas áreas de influencia (Fuente propia)	87

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación y justificación

Nos encontramos en un momento de cambio climático constante, causado fundamentalmente por el calentamiento global, que tiene múltiples consecuencias negativas en los sistemas físicos, humanos y biológicos, entre otros. Cada día, el planeta nos envía mensajes desde diferentes puntos de su geografía sobre las grandes transformaciones que está sufriendo: desde cambios en los patrones meteorológicos que suponen un aumento de temperaturas, regiones cada vez más secas y áridas que amenazan la destrucción de ecosistemas terrestres y marinos y la producción de alimentos; hasta un incremento del nivel del mar, que pone en peligro las zonas costeras.

De hecho, el litoral costero constituye la interfaz entre la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, lo que lo convierte en especialmente sensible a los cambios climáticos. Además, las áreas costeras albergan tradicionalmente ecosistemas productivos, como marismas o estuarios, y también son muy atractivas para los asentamientos humanos, de ahí que acostumbren a ser las regiones más pobladas [1].

Por eso, en este trabajo se propone el estudio de la costa gallega, caracterizada con más de 1.490 km y más de 430 km en islas, muchas de las cuales se encuentran habitadas, como puede ser la Isla de Arousa, la Isla de A Toxa y la Isla de Ons. Galicia es además la comunidad autónoma española con más km de costa, caracterizada entre otros aspectos por su particular geografía que contiene diversas rías, agrupadas en Rías Altas y Rías Bajas, y cuya frontera entre ambas la marca la Ría de Muros y Noia. Esta geografía tan particular también nos deja numerosos cabos, como el Cabo Ortegal, Punta Santo Adrián o el Cabo Finisterre, uno de los cabos más famosos del mundo. Por otra parte, Galicia es denominada la *tierra de los mil ríos*, y aunque muchos no son navegables, tiene cuatro veces más de orilla fluvial que de costa marina, de manera que este hecho también va a influir sin duda en la vulnerabilidad de la costa [2]. Otra característica muy particular de Galicia, que debemos tener en cuenta para nuestro estudio es, sin duda, el volumen de precipitaciones que esta comunidad autónoma sufre a lo largo del año, que rondan los 150 días al año, y que según explican los expertos es debido a la rotación de la tierra y a la circulación de la atmósfera de oeste a este, por lo que la mayor parte de las borrascas que se generan en el Atlántico entran en la península por esta esquina atlántica. Esto puede llegar a provocar inundaciones tanto pluviales, producidas por las propias precipitaciones como fluviales, debido al desbordamiento de los ríos [3]. Asimismo, las altas precipitaciones provocan que la vegetación de este territorio crezca y esté verde en casi todas las épocas del año. Si a esto añadimos la orografía tan característica de esta comunidad autónoma, obtenemos un paisaje único e increíble que atrae a un gran número de turistas, y que supone el 10% del PIB de Galicia y el 11% del empleo gallego, que concentra sobre la costa y en particular sobre sus rías a muchos de los comercios dedicados al turismo [4].

La magnitud de los impactos sobre la zona costera puede variar de una región a otra, pues entre otros, el nivel del mar depende de condicionantes y factores locales, como la topografía, la climatología o las actividades antropológicas. Precisamente, el aumento del nivel del mar es uno de los factores que más afecta a la vulnerabilidad de la costa, provocando un aumento de 2.5 mm/año y el consiguiente retroceso significativo de la línea costera, que a su vez estará íntimamente ligado con la pendiente de la costa. Es por todos estos motivos que cobra una vital importancia evaluar la vulnerabilidad de la costa en esta comunidad, que se encuentra de manera constante ligada con el mar.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC (2001) define vulnerabilidad como “la incapacidad de las zonas costeras para afrontar la variabilidad climática y eventos extremos”. Todas las zonas de la costa gallega se enfrentan a los efectos que se están produciendo por el cambio climático, pudiendo ocasionar entre otros, pérdidas de tierras y cultivos agrícolas próximos a la costa o reducir las especies cultivadas. Por lo tanto, se considera necesario analizar en qué medida, un determinado sector de la costa puede verse afectado por uno o varios eventos específicos, a través del cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV), que combina un número definido de variables para realizar una estimación semicuantitativa que determinará cuáles son las zonas de mayor fragilidad del litoral [5]. Cabe mencionar que existen distintos tipos de índices de vulnerabilidad que se crearon inicialmente para satisfacer unas necesidades locales y posteriormente fueron adaptaron. Estos índices pueden tener en cuenta distintos tipos de variables, como la geomorfología, la pendiente de la costa, cambios en el nivel del mar, rango mareal, oleaje, viento y otros muchos más. En la siguiente sección se presenta un estudio más detallado sobre los distintos enfoques encontrados entorno a la determinación del ICV [6].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

Generar una base de datos con información oceanográfica georreferenciada, para con ella, y a través del cálculo del ICV, determinar qué zonas del litoral gallego son más vulnerables ante los efectos que sufrimos debido al cambio climático y así poder evitar catástrofes, inundaciones u otro tipo de acciones de este tipo sobre zonas urbanas, residenciales o de especial importancia para el turismo. Para ello, se ha realizado la recopilación de datos de aquellas variables que afectan en mayor medida a la costa, como los cambios en el nivel del mar, la pendiente de la costa, erosión costera, rango mareal y oleaje. Todas las variables consideradas se clasificarán en una escala del 1 al 5, con baremos entre muy vulnerable y poco vulnerable. A continuación, gracias a la utilización del programa *gvSIG*, responsable de gestionar toda la información en su conjunto, se podrá determinar qué partes del litoral gallego son más vulnerables.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Generar una base de datos y explotar su aplicación mediante programas de utilidad para conseguir fines relacionados con la conservación de la costa gallega.
2. Familiarizarse con las herramientas de geoprosesamiento de un Sistema de Información Geográfica (SIG), y en particular con el manejo del software *gvSIG*, para relacionar cualquier tipo de dato con información geográfica, con el objetivo último de calcular el ICV.
3. Concluir gracias a la base de datos y los resultados obtenidos con el *gvSIG*, la vulnerabilidad de la costa gallega para así determinar zonas en peligro, así como la planificación, gestión y distribución de los recursos en un territorio.

2 ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se detalla la información relevante sobre el concepto de vulnerabilidad costera y los distintos enfoques empleados en el cómputo del Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV). A su vez, se introducen los tipos de bases de datos existentes, con especial interés en las de datos geoespaciales, que serán de utilidad en el presente trabajo. Para concluir, se exponen las principales funciones y aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica, a favor de una gestión y análisis eficiente de la información cartográfica.

2.1 Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV)

El Índice de Vulnerabilidad Costera es un método que nos permite clasificar las secciones de la costa respecto a una base numérica que indicará el grado de vulnerabilidad de dicha zona respecto a una serie de factores, mayormente cuantitativos, considerados en la fórmula. No obstante, es necesario aclarar que solo indican la vulnerabilidad relativa de la costa ante el incremento del nivel del mar.

Normalmente se utiliza el Índice de Vulnerabilidad Costera siguiendo el criterio de Gornitz (1990) siguiendo la fórmula mostrada en la Tabla 2-1. El objeto de esta operación es la obtención de un índice numérico que refleje la vulnerabilidad real y que no se encuentre valorada con exageración por un inadecuado balanceo de las variables involucradas [8].

	Variables consideradas:
$IVC = \sqrt{\frac{a + b + c + d + e + f + g}{7}}$ $IVC5 = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g}{7}}$	(a) Pendiente
	(b) Tipo de roca
	(c) Forma del terreno
	(d) Movimiento vertical
	(e) Cambio de la línea de costa
	(f) Rango de las mareas
	(g) Altura de las olas

Tabla 2-1 Criterio de Gornitz [7]

Gornitz propone que los índices de vulnerabilidad costera pueden ser expresados a partir de la raíz cuadrada de la suma o producto de una serie de por lo menos tres valores de variables. La diferencia entre la fórmula donde las variables se multiplican es que ofrece un mayor rango, pero es más sensible a pequeños cambios en los valores individuales de cada variable [2].

Posteriormente se procede a dividir los valores de cada una de las variables en un rango de 1 a 5, que corresponde a intervalos de vulnerabilidad que van desde 1 (muy baja vulnerabilidad) a 5 (muy alta vulnerabilidad), indicando de esta forma si la zona de estudio es vulnerable o no a cada uno de los factores de manera independiente. Procedemos a introducir todos los valores en la fórmula y obtendremos el nivel de vulnerabilidad de esa zona habiendo tenido en cuenta ya todas las variables de estudio [8].

Esta ecuación se extendió rápidamente entre los investigadores y no tardaron apenas tiempo en modificarla para lograr una mayor exactitud. Aunque también existen otras formas distintas a la que desarrolló Gornitz, como la de Doukakis (2005) quien presenta variables diferentes como son la geomorfología, la pendiente, el aumento relativo del nivel del mar, tasas y zonas de erosión y acumulación, rango medio de mareas y altura media de las olas.

Sin embargo, la ecuación más utilizada ha sido la de Gornitz, aun habiendo sufrido diversas modificaciones a lo largo del tiempo, hasta más de diez. De hecho, en diferentes trabajos encontramos modificaciones en la fórmula de Gornitz dependiendo de las variables que se vayan a utilizar en el estudio. A continuación, mostramos varias modificaciones a la fórmula de Gornitz [9].

- Con 7 variables, siguiendo el criterio de Gornitz, pero con modificaciones (Tabla 2-2) [3]:

$V = \sqrt{\frac{a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * a_6 * a_7}{7}}$	Variables consideradas:
	(a ₁) Elevación media (a ₂) Tendencia en la subsidencia local (a ₃) Geología (a ₄) Geomorfología (a ₅) Desplazamiento medio de la línea de costa (a ₆) Altura máxima de ola (a ₇) Media del rango de mareas

Tabla 2-2 Criterio de Gornitz modificado [9]

En la Figura 2-1 se muestran las siguientes variables y los diferentes rangos de vulnerabilidad:

	RANGO DE LAS VARIABLES DE VULNERABILIDAD COSTERA				
	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
VARIABLES	1	2	3	4	5
1. Altitud (m)	>30	21-30	11-20	6 - 10	0 - 5
2. Cambio del nivel del mar (mm/año)	< -1,0	-1,0 a 0	0,1 a +2,0	2,1 a 40	>4,0
3. Tipo de roca (geología)	Rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas de alto grado	Rocas metamórficas de bajo grado	Mayoría de las rocas sedimentarias	Rocas sedimentarias poco consolidadas.	Sedimentos inconsolidados
4. Geoforma (geomorfología)	Fiordos, acantilados altos	Acantilados intermedios y bajos	Barreras, deltas, espigas tómbolos	Playa, y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea, marismas
5. Desplazam. de la línea de costa (m/a)	>+0,1 acreción	0 estable	-0,1 a -0,5 erosión	-0,6 a -1,0 erosión	< -1,0 erosión
6. Máxima altura de ola en un año (m)	0 - 2,9	3,0 - 4,9	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9	>6,9
7. Rango de marea (m)	<0,50	0,5 - 1,9	2,0 - 4,0	4,1 - 6,0	>6,0

Figura 2-1 Ejemplo de la modificación de Gornitz [9]

- Con 7 variables, con modificaciones al criterio de Gornitz (Tabla 2-3) [4]:

	Variables consideradas:
	(a) Variable geomorfológica (b) Pendiente (c) Cambios en el nivel del mar (d) Erosión costera (e) Rango mareal (f) Oleaje (g) Variable ambiental

$$CVI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g}{7}}$$

Tabla 2-3 Criterio de Gornitz con 7 variables [10]

- Con 6 variables, modificaciones al criterio de Gornitz (Tabla 2-4) [4]:

$CVI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{6}}$	Variables consideradas:
	(a) Resistencia del sustrato geológico/geomorfológico a la erosión (b) Tasa de erosión (c) Pendiente costera (d) Oleaje medio significativo (e) Tasa de cambio del nivel relativo del mar (f) Rango mareal medio

Tabla 2-4 Criterio de Gornitz con 6 variables [11]

- Con 8 variables, modificaciones al criterio de Gornitz (Figura 2-2) (Tabla 2-5) [5]:

$CVI = \sqrt{\frac{G * P * R * E * V * M * N * L}{8}}$	Variables consideradas:
	(G) Geomorfología (P) Pendiente de playa frontal (R) Rango mareal (E) Evolución de la línea de costa (V) Variación del nivel del mar (M) Máxima altura de ola (N) Nivel de antropización (L) Litología

Tabla 2-5 Criterio de Gornitz con 8 variables [12]

Variable	Rango de valores				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
	1	2	3	4	5
Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
Pendiente de playa frontal (%)	Mayor o igual a 8	Entre 4 y 8	Entre 2 y 4	Entre 1 y 2	Entre 0 y 1
Rango mareal (m)	Menor a 0,5	Entre 0,5 y 1,9	Entre 2 y 4	Entre 4,1 y 6	Mayor a 6
Evolución de la línea de costa (m/año)	Mayor o igual a 0,1	0	Entre -0,1 y -0,5	Entre -0,6 y -1	Menor a -1
Variación del nivel del mar (mm/año)	Menor a -1	Entre -1 y 0	Entre 0,1 y 2	Entre 2,1 y 4	Mayor a 4
Máxima altura de ola (m)	Entre 0 y 2,9	Entre 3 y 4,9	Entre 5 y 5,9	Entre 6 y 6,9	Mayor a 6,9
Nivel de antropización (adimensional)	Puertos, espigones, rompeolas, rellenos duros	Forestación de dunas, rellenos blandos	Costa natural, muelles sobre pilotes	Deforestación, extracción de áridos, edificios en altura	Destrucción y deforestación de dunas, drenaje urbano en playa
Litología	Roca volcánica, plutónica y metamórfica de alto grado	Roca metamórfica de bajo grado	Mayoría de rocas sedimentarias	Roca sedimentaria poco consolidada	Roca sedimentaria inconsolidada

Figura 2-2 Variables consideradas para cálculo de ICV y su rango de valores [12]

- Con número elevado de variables, ponderadas de distinta forma según su importancia (Ecuación 2-1) (Figura 2-3) [6]:

$$V_{abs} = \sum a_n f_n \quad (\text{Ecuación 2-1})$$

N°	VARIABLE	RANGOS					FACTOR
		Muy baja (1)	Baja (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muy alta (5)	
1	Geomorfología	Acantilados altos de rocas ígneas	Acantilados medios rocas metamórficas	Acantilados bajos Plataformas de abrasión Terrazas marinas Colinas y montañas	Llanuras aluviales Lagunas costeras	Playa Campos de dunas Espigas Pantanos de manglar Playones	1
2	Erosión	Acumulación	Estabilidad	Erosión baja (menos de 0,5 m/año)	Erosión media (0,5 - 1 m/año)	Erosión alta (más de 1 m / año)	1
3	Ancho de playa	Más de 50 m	Entre 50 -25 m	Entre 25 - 10 m	Menos de 10 m	Sin playa	1
4	Pendiente de playa (intermareal)	Más de 8°	Entre 6° y 8°	Entre 4° y 6°	Entre 2° y 4°	Entre 0° y 2°	0.8
5	Grado de exposición oleaje	Con obstáculos - oleaje indirecto	x	Medianamente resguardada	x	Sin obstáculos - Oleaje directo	0.8
6	Estado morfodinámico	Reflectivo	x	Intermedio	x	Disipativo	0.8
7	Presencia de rasgos geomorfológicos	Sin rasgos	x	1 - 2 rasgos	x	2 rasgos o más	0,6
8	Rango mareal	Micromareal	x	Mesomareal	x	Macromareal	0.6
9	Altura de ola	Entre 0 y 1 m	x	Entre 1 y 2 m	x	Mayor de 2 m	0.6
10	Aumento del nivel del mar	Descenso 1 mm/año	Estabilidad relativa	Aumento de hasta 0.5 mm/año	Aumento entre 0.5 - 1 mm/año	Aumento mayor de 1 mm/año	0.6
11	Usos de suelo	Arbustos y matorrales	Mosaico pastos Pastos arbolados Pastos enmalezados Pastos limpios	Bosque de mangle Marismas costeras Lagunas - Lagos Zonas Pantanosas Bosque de galería	Estanques agricultura Mosaico cultivos Pastos cultivos	Instalaciones recreativas Aeropuertos Zonas industriales - comerciales Tejido urbano Zonas de extracción minera	1
12	Índice K - estructuras	No estructuras (K = 0)	Mínimo (k = 0.0001-0.1)	Promedio (K = 0.11-0.5)	Máximo (K = 0.51-1)	Extremo (K mayor de 1)	1
13	Porcentaje de área desarrollada	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40 %	Desarrollo entre 40-60 %	Desarrollo entre 60-80 %	Desarrollo mayor al 80 %	1

Figura 2-3 Variables consideradas para el cálculo del ICV [13]

2.2 La vulnerabilidad en diferentes tipos de costa

Los factores que se van a estudiar, como puede ser el viento, el oleaje, la corriente, el nivel del mar, y la pendiente de la costa no afectan de la misma forma a los distintos tipos de costa existentes. A continuación, veremos los distintos tipos de costa y cómo pueden influir en ellos las diferentes variables [14].

- Costas bajas asociadas a desembocaduras de cursos de agua. Lo que más afectará a este tipo de costa serán las actividades humanas o los cambios producidos en el océano o en los caudales fluviales.
- Estuarios, bahías y rías. Suelen contener costas bajas con humedales, así como playas en el interior y en la entrada. Estas son las zonas que sufren el mayor impacto debido a su naturaleza y a los asentamientos que soportan.
- Deltas. Estas zonas no son de las menos afectadas, ya que se trata de salientes cuyo aporte de sedimentos supera la capacidad de arrastre de las corrientes y oleajes.
- Marismas y lagunas costeras. Son zonas de costa baja, pueden presentar vegetación marismeña y pueden tener distintas características.
- Playas confinadas. No presentan vulnerabilidad ante los diferentes agentes ya que se encuentran limitadas en su parte superior por acantilados o estructuras artificiales que impiden su retroceso hacia el interior.
- Playas no confinadas. Tienen la posibilidad de retroceso hacia el interior frente a la acción de los diferentes agentes.
- Acantilados duros. No se ven afectados a los diferentes agentes debido a que están formados por rocas compactas resistentes a la erosión.
- Acantilados blandos. Pueden verse afectados por los diferentes agentes debido a que están formados por materiales fácilmente erosionables.
- Puertos. Zonas protegidas por estructuras tipo dique vertical o en talud y que no deben verse afectadas por los diferentes agentes.

2.3 Las bases de datos

Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático. Las bases de datos surgieron para almacenar y manipular los datos, sin embargo, podemos encontrar los orígenes más recientes de estos antes de la digitalización y la llegada de la computadora en las bibliotecas, que no dejan de ser bases de datos; o los archivos de todos los municipios en donde se encuentra el censo o cualquier otro tipo de registro [15].

Por ello es con los griegos y con los romanos cuando surgieron las primeras bases de datos al almacenar en papiros y en cajas todo tipo de información, como aquella cuyo acceso estaba solo permitido a unos pocos sabios.

Es en 1884 cuando las bases de datos tienen su origen como hoy en día las entendemos. Fue Herman Hollerith quien creó la máquina automática de tarjetas perforadas, también conocida como máquina tabuladora, para elaborar el censo de 1890 en EE. UU., que hasta entonces se realizaban de forma manual [16].

El siguiente paso en el avance de las bases de datos surgió en 1950 con la aparición de las cintas magnéticas. Con este invento, que consistía en una banda plástica con un material magnetizado, se comenzó a automatizar la información. En los años 60 surgió el disco, debido también al desarrollo de los ordenadores, su continua mejora tanto en calidad como su menor tamaño y el comienzo de su

popularización y comercialización. Estos discos permitían al usuario acceder a todo tipo de información sin conocer su ubicación exacta.

En esta década también se hicieron progresos en este campo gracias a la alianza entre IBM y American Airlines, que crearon un sistema que permitía conocer toda la información necesaria de los pasajeros de la compañía, así como toda la información de las transacciones y de las reservas de los clientes. En la misma década, Charles Bachman desarrolló el modelo en red, un tipo de base de datos que supuso un estándar en las bases de datos al permitir un modelado más natural de las relaciones entre entidades [17].

Posteriormente en la década de los 70, Edgar Frank Codd realizó diversas aportaciones a la teoría de bases de datos relacionales y publicó varias reglas y un artículo “*Un modelo relacional de datos para grandes bancos de datos compartidos*”, lo que dio lugar a la segunda generación en los Sistemas Gestores de Datos Compartidos. A partir de esto, Lawrence J. Ellison llevó a cabo el Relational Software System conocido como Oracle Corporation hoy en día [17].

En la década de los 80 se comenzó a desarrollar el lenguaje de consulta estructurado (SQL – Structured Query Language), que ya permitió gestionar las bases de datos, realizar consultas y todo tipo de cambios, recuperar y además analizar toda esta información.

En la década de los años 1990 se crearon las bases de datos orientadas a objetos, que tuvieron un mayor éxito respecto a lo que no conseguían las bases de datos relacionales, surgiendo así herramientas como Excel y Access (Figura 2-4) y dando lugar a la tercera generación de los Sistemas Gestores de Bases de Datos [18]. Hoy en día son IBM, Microsoft y Oracle las compañías que tienen el mejor control sobre las bases de datos [19].

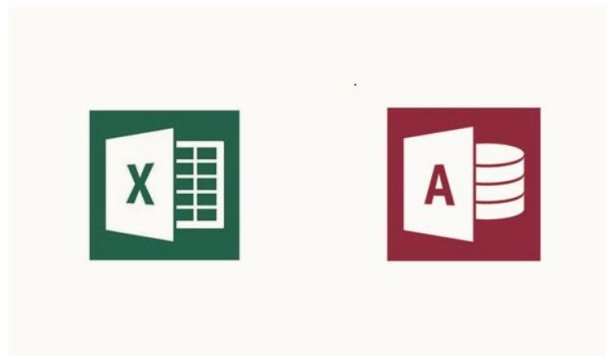


Figura 2-4 Logotipo Excel y Access [20]

2.3.1 Tipos de bases de datos

1. Según su variabilidad:

- **Base de datos estática:** son aquellas que almacenan datos sin ninguna intención de modificarlos o variarlos; en muchas ocasiones se tratan de datos históricos o invariables que quedan almacenados según van sucediendo, y de los que se pueden consultar y analizar algún tipo de tendencia a lo largo de los años, por lo que en muchas de las ocasiones son utilizados por historiadores. La condición principal de esta base de datos es que únicamente es de lectura (Figura 2-5) [21].

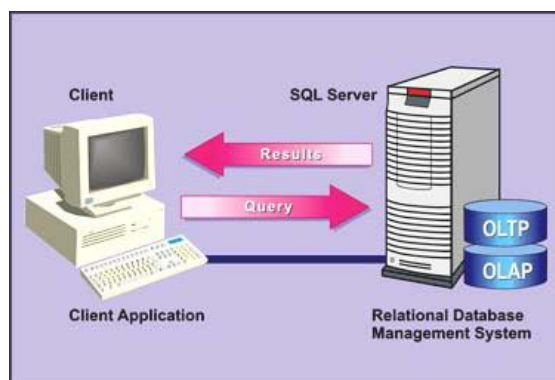


Figura 2-5 Base de datos estática utilizada por un cliente mediante la computadora [22]

- **Base de datos dinámica:** al igual que la estática sirve para consultar los datos, pero su diferencia es que no es únicamente de lectura, sino que también permite al usuario borrar, modificar o actualizar datos. Se utiliza para manejar datos que van a variar con el tiempo, como por ejemplo una base de datos con el alumnado de la ENM, pues cada año hay que incorporar nuevos alumnos y borrar otros, algunos alumnos repiten o hay que modificar sus datos, o incluso algunos causan baja en los primeros años y deben eliminarse de la base de datos (Figura 2-6)[21].

	A	B	C	D
1	Año	Mes	Web	P. Vistas
2	2007	Enero	Web1	192918
3	2007	Febrero	Web1	167794
4	2007	Marzo	Web1	168265
5	2007	Abril	Web1	157625
6	2007	Mayo	Web1	166270
7	2007	Junio	Web1	151750
8	2007	Julio	Web1	132327
9	2007	Agosto	Web1	133652
10	2007	Septiembre	Web1	175657
11	2007	Octubre	Web1	216484
12	2007	Noviembre	Web1	266863

Figura 2-6 Base de datos dinámica [23]

2. Según su contenido:

- **Base de datos bibliográfica:** en ella se almacenan todas las publicaciones existentes respecto a un tema determinado, ya sean libros, revistas, artículos o cualquier tipo de publicación. Sin embargo, no almacenan la documentación al completo, únicamente el título de la publicación, su autor, el año en que fue publicada y algún dato más de interés. De esta forma podemos encontrar en estas bases de datos las publicaciones que estemos buscando (Figura 2-7) [24].

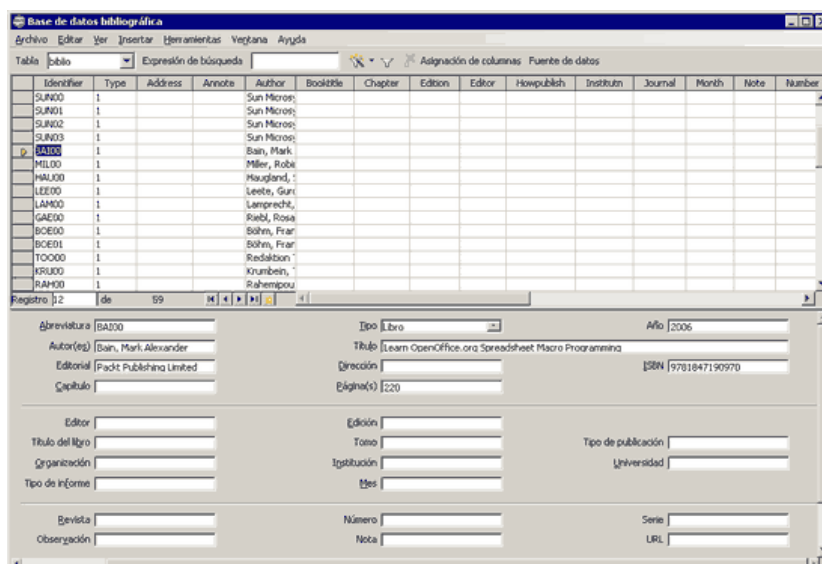


Figura 2-7 Ejemplo base de datos bibliográfica [25]

- **Base de datos de texto completo:** a diferencia de la base de datos bibliográfica, esta sí que contiene la fuente primaria. Aquí podemos encontrar todos los textos completos a los que hace referencia la base anterior, los periódicos, las revistas o los libros.
- **Directorios:** estos son un tipo de base de datos estática: por ejemplo, una guía de teléfonos o las páginas amarillas, pues en ellas se puede encontrar el nombre ya sea de la persona o de la empresa, su número de teléfono, la dirección y algún dato más si fuera necesario.
- **Bibliotecas de información química o biológica:** estas bases de datos contienen todo lo publicado en relación con la química o la biología, investigaciones, experimentos, artículos o publicaciones (Figura 2-8) [26].

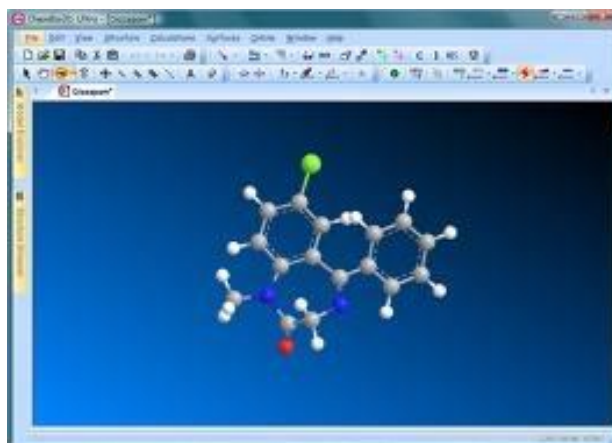


Figura 2-8 Ejemplo de biblioteca de información química y biológica [27]

2.3.2 Modelos de bases de datos

- **Bases de datos jerárquicas:** Son bases de datos en forma de árbol inverso (Figura 2-9) que eran muy usadas en el pasado pero que cada vez lo son menos. El árbol está formado por nodos, donde un nodo padre puede tener un numero infinito de nodos hijo, pero un nodo hijo solo puede tener un nodo padre. El árbol tiene una serie de niveles, siendo el nivel 0 el nodo raíz, que es el más alto en la jerarquía. Esta base de datos ofrece algunas ventajas ya que su interpretación es fácil y las relaciones entre los diferentes datos son fáciles de fijar, de modo que el usuario puede buscar de forma rápida. Además, los datos continúan siendo

independientes; cualquier usuario de la base de datos puede acceder a toda la información sin ningún tipo de problema. Sin embargo, este modelo de base de datos tiene algún inconveniente como que puede resultar redundante ya que, si hay que introducir algún dato que tiene algún tipo de relación con dos o más, es decir, como si tuviera dos nodos padres, tendría que incluirse esa información tantas veces como relaciones tenga; debido a la forma en que se almacenan los datos resulta muy complicado su modificación o su eliminación, ya que un nodo se quedaría sin nodo padre y el árbol dejaría de funcionar [28].

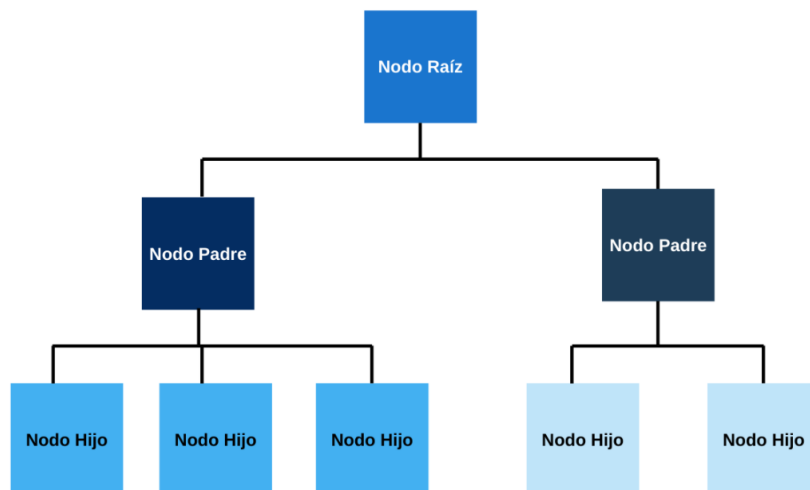


Figura 2-9 Ejemplo de base de datos jerárquica [29]

- **Bases de datos de red:** estas bases de datos se fundamentan en que los propios datos o registros se encuentran conectados entre ellos formando una red (Figura 2-10). Funcionan igual que las bases de datos jerárquicas, con la gran diferencia de que en estas un nodo hijo puede tener varios nodos padres. Lo que nos ofrece esta base de datos es poder establecer una relación de muchos datos a muchos otros, o que las relaciones sean cruzadas, lo cual no era posible en las bases de red jerárquicas. También ofrece al usuario la ventaja de poder organizar e incluir de manera sencilla toda esa información, al igual que modificar o eliminar datos sin tener que variar el esquema de la base de datos. Sin embargo, es complicado establecer una relación de muchos a muchos entre diferentes niveles [30].

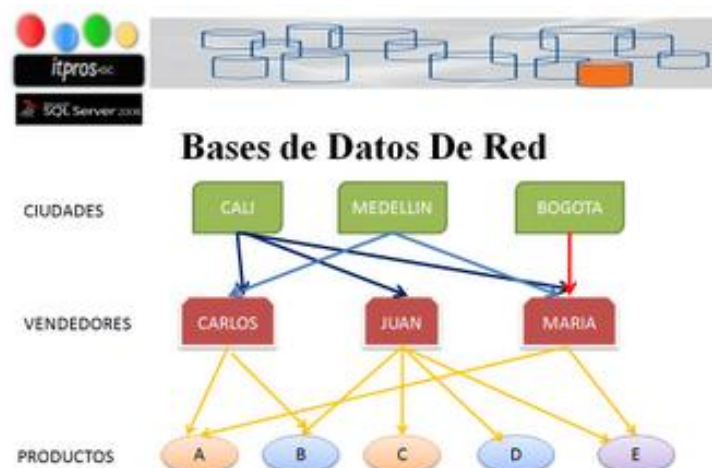


Figura 2-10 Representación base de datos de red [31]

- **Bases de datos transaccionales:** el objetivo de estas bases de datos es el envío y la recepción de los datos a gran velocidad. Es usado frecuentemente en empresas y grandes organizaciones y específicamente en los bancos para manejar todas las transacciones que se llevan a cabo. Estas deben asegurar frente todo a tipo de condiciones que las operaciones se han llevado a cabo. Para que todo esto sea posible los datos deben estar normalizados y ser incluidos normalmente en tablas, esto permite su consulta de forma muy rápida. Este modelo mantiene la integridad de los datos y la información que se maneja, y además el usuario puede modificar y tratar los datos sin que se vea afectada su integridad. La desventaja es que no nos permite de manera sencilla analizar todos esos datos y generar informes [21].
- **Bases de datos relacionales:** estas bases de datos no producen una jerarquía entre los datos, sino que los almacenan y dan acceso a puntos de datos que tienen relación entre sí. Lo que se consigue evitar con estas bases de datos es la duplicidad de ellos. Los datos se pueden actualizar y modificar sin ningún tipo de problema, esto hace que sea una de las bases de datos más utilizadas actualmente. Sin embargo, este modelo no es del todo útil a la hora de manejar datos gráficos [21].
- **Bases de datos multidimensionales:** son bases de datos relacionales pero que son usadas para aplicaciones concretas, se almacenan en tablas al igual que las relacionales, pero almacenan en ellas dos tablas: la tabla de dimensiones, donde especifica el nombre o la marca y la tabla de hechos, que almacena los valores clave de estos como por ejemplo el tamaño. Estas trabajan con datos abstractos y pueden además trabajar con bases de datos simples. Sin embargo, presentan una desventaja que se trata de evitar en las bases de datos como es la dificultad para hacer cambios o modificaciones en los datos [21].
- **Bases de datos orientadas a objetos:** son aquellas en las que la información debe estar representada mediante objetos. Esta base de datos debe cumplir una serie de condiciones como poder soportar objetos complejos o tener un identificador de imágenes [21].
- **Bases de datos geoespaciales:** se trata de una colección de elementos o datos interrelacionados que pueden ser procesados por uno o más sistemas de aplicación.

Las bases de datos son un papel fundamental en este trabajo, ya que nos aportan una serie de requisitos que harán más sencillo el estudio mediante SIG [45].

- Centralización y unicidad: los datos se encuentran en un único lugar y de forma única, evitando así duplicados o cambios en la información
- Ubicación de la información: la base de datos se encuentra en un servidor y esto permite al usuario tener acceso a ella desde cualquier lugar y desde diferentes medios de trabajo.
- Acceso rápido y compartido de la información: esto permite a varios usuarios acceder a la misma información en el mismo momento y desde lugares distintos y de forma rápida.

Para la manipulación de los datos cuando el usuario lleva a cabo una consulta, la base de datos geoespaciales proporciona funciones para el análisis de componentes geométricos, determinación de relaciones espaciales y manipulación de geometrías (conversión, gestión, recuperación, comparación y generación), es decir una base de datos geoespacial permite modelar la realidad y por tanto será la que usaremos para la realización del presente trabajo [32].

Con la base de datos se consigue facilitar todas las operaciones que el usuario realiza en SIG, también obtenemos mayor rapidez, por lo contrario, no se podrían realizar consultas o realizar operaciones sobre los datos [53].

Para un uso eficiente de las bases de datos con los SIG es frecuente el uso de Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), que consisten en datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder al mismo (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Los SGBD son utilizados por los SIG para el almacenamiento de la información [54].

Lo que crean los SGBD es un conjunto de tablas, entre las cuales existen relaciones, que permite el almacenamiento de los datos, su modificación y su consulta. Las ventajas que un SGBD nos ofrece frente a una hoja de cálculo son las siguientes:

- El programa que utilizamos, en este caso *gvSIG*, para realizar todas las consultas a la base de datos, es totalmente independiente del servidor (programa que gestiona los datos) y de la manera de almacenarlos.
- Utiliza un lenguaje formal para optimizar la respuesta de las consultas, esto es necesario y beneficioso cuando se trata de consultas complejas.
- El usuario no lo ve, pero el almacenamiento de los datos se hace de forma eficiente, al contrario que en las hojas de cálculo.
- Permite que varios usuarios acceden a la base de datos al mismo tiempo, pudiendo consultar los datos e incluso modificarlos sin que esto provoque problemas de seguridad, ya que el acceso de los usuarios debe estar autorizado [54].

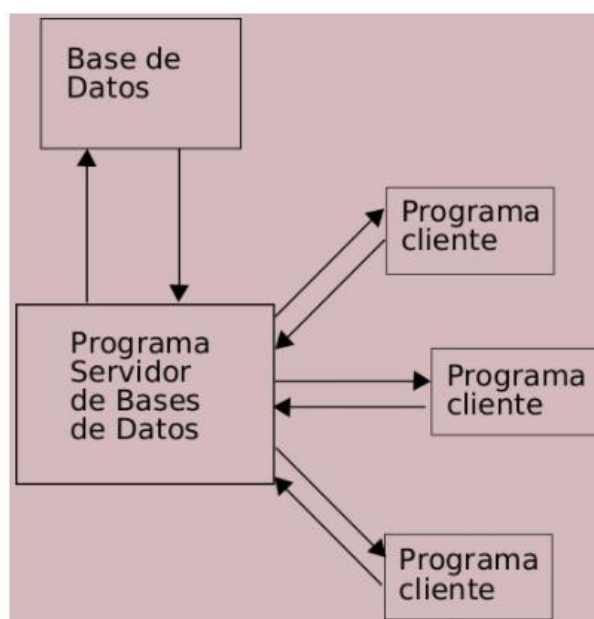


Figura 2-11 Representación SGBD [55]

2.4 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para la creación de una base de datos, de la cual hemos hablado anteriormente, nos ayudaremos de herramientas SIG para el tratamiento de toda esta información, ya que optimiza el manejo de la información oceanográfica.

Una vez se almacenan los datos de forma espacial, la utilización de los SIG para crear la base de datos nos va a favorecer en primer lugar en la visualización de la información, ya que representa los datos sobre el espacio bidimensional representado mediante coordenadas. La utilización de los SIG también nos va a permitir mediante consultas la obtención de respuestas, ofreciendo al usuario como respuesta un subconjunto de datos en función de unos criterios definidos, donde el programa lo presenta de forma útil en tablas, gráficos o mapas [33].

También vamos a recurrir al uso de los SIG para realizar análisis con los datos introducidos, lo cual permite al usuario la toma de decisiones. Los SIG nos van a permitir, una vez creadas las capas de entrada, visualizar la capa de salida.

Es por todos estos motivos por los que recurrimos al uso de los SIG para la creación de la base de datos, gracias a todas las funcionalidades que nos aporta.

Los primeros Sistemas de Información Geográfica surgieron en los años sesenta, al mismo tiempo que empezaron a crearse los primeros ordenadores. Podemos decir por lo tanto que nos acompañan desde el principio de las computadoras. Los primeros trabajos que se hicieron con SIG sirvieron para investigar a nivel académico, y fueron clave posteriormente en investigaciones sobre análisis espacial, lo que impulsó de algún modo la ciencia geográfica sentando las bases de los SIG [34].

En 1963 Roger Tomlinson creó el primer SIG computarizado del mundo, que se trataba de un inventario gestionable de los recursos naturales de Canadá, encargado por el propio gobierno a este hombre. A su vez, en la Universidad de NorthWestern, Howard Fisher creó el primer programa de software de mapeo SYMAP, y muchos de los primeros conceptos de SIG y sus aplicaciones se desarrollaron en el laboratorio de esta universidad [34].

En 1969 Jack Dangermond, que era uno de los miembros que participaba en el laboratorio que hemos mencionado anteriormente y su esposa, aplicaron el mapeo computarizado y el análisis espacial para ayudar a los planificadores territoriales y a los administradores de recursos de la tierra. Posteriormente continuaron desarrollando diversos métodos de mapeo SIG y análisis espacial que hoy en día continuamos utilizando [35].

A medida que los ordenadores se han ido desarrollando y se han ido comercializando se fue mejorando el software y se fueron realizando proyectos que resolvían problemas del mundo real, lo cual condujo a innovar y a desarrollar más herramientas, hasta conseguir el primer producto SIG comercial.

Hoy en día los SIG nos permiten crear nuestras propias capas de mapas digitales y se convierten en un medio donde podemos compartir los datos y colaborar con otros usuarios, tratando de convertirse en una superpuesta e interoperable base de datos SIG del mundo [36].

2.4.1 ¿En qué consiste un SIG?

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas [37].

Es decir, con una serie de herramientas podemos organizar, manipular y analizar grandes cantidades de datos que están vinculados a una referencia espacial. Por lo tanto, con los sistemas SIG podemos trabajar con toda esta información geográficamente referenciada, y se puede acceder a las consultas que le interese al usuario, editar esos datos o los mapas y obtener ciertos resultados.

Toda esta información compone una base de datos que tiene la información geográfica y está asociada a los mapas digitales, de tal forma que cuando es señalado un objeto del mapa podemos conocer todos sus datos y de forma inversa, cuando seleccionamos los datos podemos conocer su localización cartográfica en los mapas. Por lo tanto, lo que hace es crear, representar y analizar todo tipo de datos. Los SIG nos indican dónde se encuentran cartográficamente todos esos datos que nosotros introducimos en el programa, y cómo son las características en este lugar dependiendo de lo que nosotros estemos tratando de saber, con el fin siempre de analizar y tomar decisiones.

La principal función que aporta un SIG es que permite separar toda la información en diferentes capas de forma independiente (Figura 2-12), lo cual posibilita relacionar unas con otras separándolas de terceras capas que no interesen al usuario. Por ejemplo, nos permite conseguir información sobre dónde se encuentran cartográficamente ciertas características que el usuario está buscando; también podríamos

buscar qué lugares cumplen con las condiciones que el usuario está buscando o incluso cruzando varias capas, si el usuario quiere que cumpla condiciones de ambas capas; al usuario le permite determinar qué tendencia ha ido ocurriendo en ciertos lugares a lo largo del tiempo; si el usuario elige dos puntos, el programa puede computar cuál puede ser la ruta óptima entre ambos puntos; también puede determinar las zonas que cumplen las condiciones especificadas por el usuario, o incluso puede incluir modificaciones en los datos para así conseguir simular una zona [37].

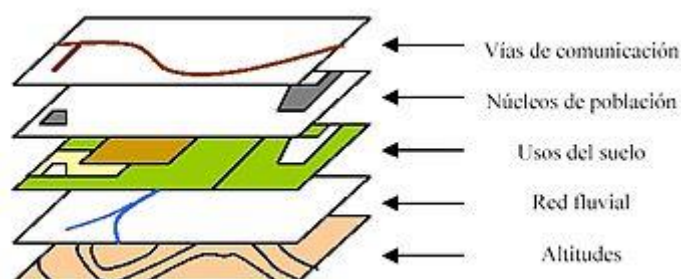


Figura 2-12 Representación de separación de capas [38]

2.4.2 Herramientas del SIG

1. Datos:

La tecnología SIG obtiene datos mediante información digital, es decir, mediante mapas, información tomada en el propio terreno, que se introducen mediante CAD.

Se trata de crear capas de datos, como las capas de datos fundamentales o capas de mapas base estándar, de manera que, una vez creadas estas bases, los usuarios de SIG pueden aplicar las capas de datos para aprovechar o aumentar su información. El resultado final es un sistema oficial de registro que sirve como base en el dominio de trabajo [39].

Los datos disponibles que tenemos son las imágenes, que nos permiten visualizar casi cualquier parte del mundo, las fronteras y los lugares, como esta capa que nos muestra los límites entre países o entre las comunidades autónomas (Figura 2-13) [40].



Figura 2-13 Ejemplo de límite entre regiones [40]

También demografía y estilos de vida que nos pueden mostrar la población total de cada país; los mapas base, que son la base de las aplicaciones SIG que se han construido a partir de datos fiables; también pueden ser de transporte (Figura 2-14), observaciones de la tierra, sistemas urbanos o mapas históricos [39].



Figura 2-14 Representación de estudio para transportes [40]

Todos estos datos podemos almacenarlos de dos formas distintas: modelos ráster o vectorial.

- **Ráster:** consta de una matriz de píxeles organizados en filas y columnas, por ejemplo, en la fotografía el conjunto de píxeles crea la imagen, es decir, cada píxel toma un valor y el conjunto de ellos nos proporciona toda esa información del mundo real, que puede proceder tanto de una imagen aérea como de una satelital [41].
- **Vectorial:** se almacenan los datos de la imagen mediante vectores, manteniendo así las características geométricas de las figuras. Así por ejemplo puede ser usado para representar las curvas de nivel de un mapa cartográfico que define la altitud de todos los puntos definidos en la imagen [41].

2. Mapas:

Los mapas representan un conjunto de información geográfica y nos permiten organizar toda la información en forma de capas temáticas (Figura 2-15).

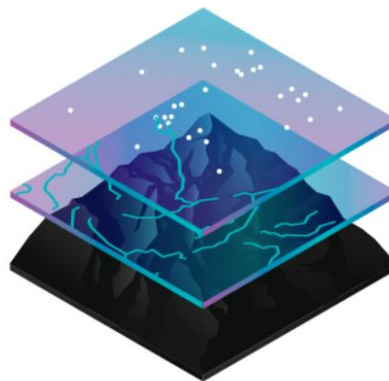


Figura 2-15 Representación de la información que contiene un mapa [40]

Un mapa es, por tanto, la representación geográfica que nos permite acceder a información y datos de cualquier zona. Los mapas pueden tener diferentes usos:

- **Comunicación y comprensión:** mediante la visualización de un mapa, los usuarios pueden comprender mejor los datos que si viniesen dados de forma numérica.
- **Identificación de patrones:** puede ser aplicado a diversos ámbitos, a animales, a las ciudades o incluso a los transportes de las personas (Figura 2-16).

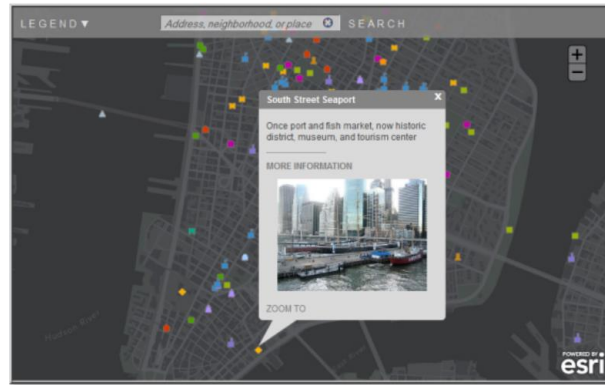


Figura 2-16 Ejemplo de identificación de patrones en una ciudad [42]

- **Obtención de nueva información mediante análisis:** además de mostrar al usuario en una nueva capa el resultado de la información, permite evaluarla.
- **Conocimiento y notificación de estados:** permite al usuario conocer el estado de aquello que desee (Figura 2-17) [39], [43].

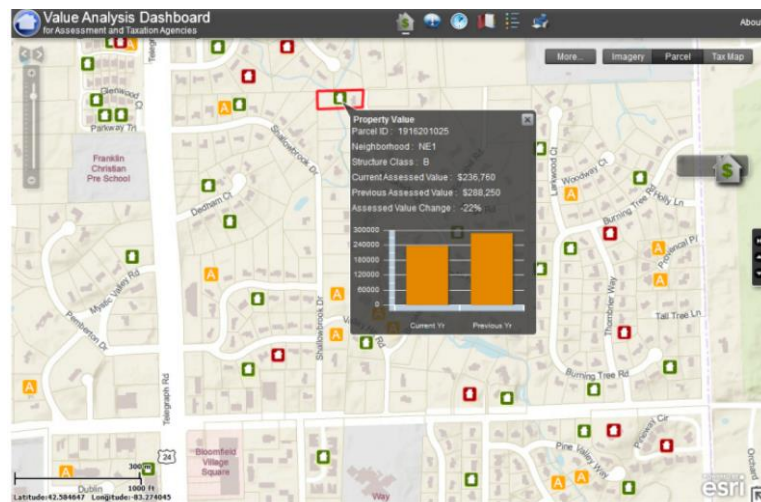


Figura 2-17 Representación del estado de ciertos lugares [42]

- **Compilación de información geográfica:** permite al usuario incluir o modificar datos.

3. Análisis:

Lo que se trata es que el usuario pueda responder a sus necesidades. Viendo un mapa el usuario ya puede estar analizando datos, sin embargo, en ocasiones no basta con esto, sino que son respuestas más complejas y el programa nos permite realizar un análisis de superposición que permite la combinación eficaz de capas (Figura 2-18)[40].

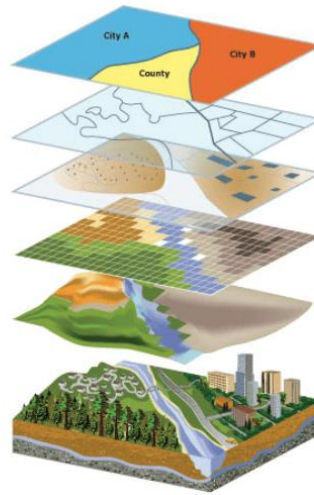


Figura 2-18 Representación de la separación de capas [40]

Si el usuario, por ejemplo, necesitara un terreno que tuviera unas condiciones específicas de humedad, que estuviera a un número determinado de kilómetros alejado de la ciudad y que tuviera un río a una distancia específica, podría conseguir mediante la superposición de las capas correctas, el resultado del análisis que de manera independiente no podría haber alcanzado.

En el caso particular del análisis espacial, se responden a preguntas específicas del usuario, lo cual le permite obtener una evaluación de los mapas, mediante la interactividad de datos y mapas.

4. Aplicaciones:

Están diseñadas para guiar de una manera sencilla, incluso con ejemplos, al usuario en una tarea específica, cuyo objetivo es facilitar el trabajo del usuario desde ordenadores, smartphones o desde la web. Pueden estar orientadas a ciertos trabajos, haciéndolos más fáciles para el usuario, reduciendo la posibilidad de cometer errores y manteniendo un mayor control del trabajo, como por ejemplo en trabajos medioambientales o en arqueología (Figura 2-19)[40]. No sólo sirven al usuario para la realización del trabajo, sino que facilitan su posterior monitorización y seguimiento de una forma muy simple y en tiempo real [43].

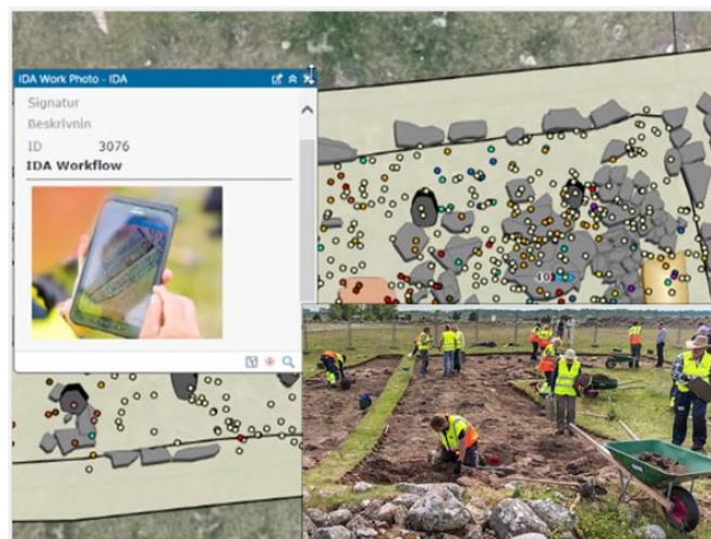


Figura 2-19 Utilización de SIG para trabajos de arqueología [40]

2.4.3 Las capas

Permiten almacenar la información geográfica a la vez que la dividen en una serie de capas. Cada fenómeno o tema es representado individualmente en una capa usando datos SIG bastante fáciles como pueden ser las líneas, los puntos, polígonos e imágenes ráster. Una vez existen estas capas se trata de georreferenciarlas, es decir, aportarles unas coordenadas para que así la información de la capa se muestre en el lugar correcto (componente espacial). De esta forma conseguimos añadir diferentes capas de tal forma que la información se va superponiendo en un mismo mapa en el lugar correspondiente (Figura 2-20) [44].

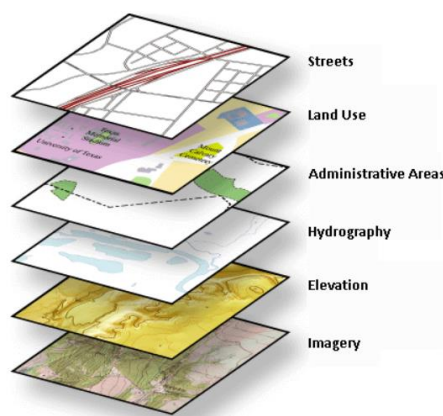


Figura 2-20 Ejemplo de superposición de capas [42]

Estas capas están formadas por la componente espacial que les asigna a las formas que conforman las capas, una ubicación geográfica. A parte de ello contienen los atributos (Figura 2-21), que son toda esa información almacenada sobre cada una de esas formas que contienen las capas [42].

Shape	ID	PIN	Area	Addr	Code
	1	334-1626-001	7,342	341 Cherry Ct.	SFR
	2	334-1626-002	8,020	343 Cherry Ct.	UND
	3	334-1626-003	10,031	345 Cherry Ct.	SFR
	4	334-1626-004	9,254	347 Cherry Ct.	SFR
	5	334-1626-005	8,856	348 Cherry Ct.	UND
	6	334-1626-006	9,975	346 Cherry Ct.	SFR
	7	334-1626-007	8,230	344 Cherry Ct.	SFR
	8	334-1626-008	8,645	342 Cherry Ct.	SFR

Figura 2-21 Atributos de las capas [42]

2.4.4 Funciones de análisis espacial

Con los SIG podemos llevar a cabo los siguientes tipos de procedimientos de análisis espacial que, junto con la generación cartográfica, constituyen una de sus tareas fundamentales:

- **Consulta espacial:** nos resuelve preguntas sencillas pero importantes como ¿En qué zonas se encuentra un determinado tipo de suelo? ¿Qué río es el más ancho de Galicia? ¿Qué río tiene mayor caudal? ¿Cuál es el tipo de terreno en la cercanía de los ríos? Responde a preguntas concretas que el usuario necesita saber cuando está observando el mapa [46].
- **Análisis topológico:** este análisis valora no solo la posición que el usuario indica sino la relación que tiene con el resto de los elementos dentro de la misma capa. Por ejemplo, puede resolver al usuario cuestiones sobre cómo llegar, o cuál es la mejor manera de llegar de unas coordenadas a otras. Si el usuario quiere saber cómo llegar de un Concello de Galicia a otro porque su intención es construir una carretera, este puede darle un resultado y que el usuario

tome una decisión. Puede compararlo posteriormente para comprobar si esta carretera pasará o no por una zona vulnerable de la costa (Figura 2-22) [47].

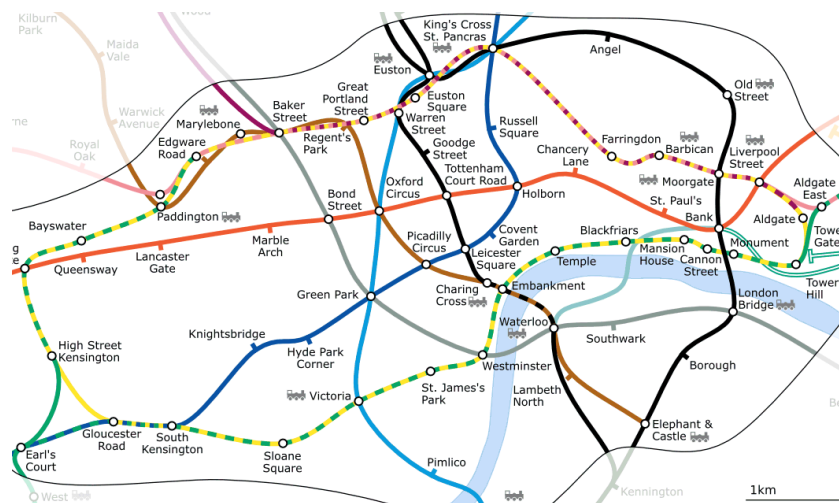


Figura 2-22 Ejemplo de usos de los SIG para optimizar la comunicación entre dos puntos [40]

- **Mediciones:** con este análisis se pueden calcular distintos factores como la longitud de un recorrido no lineal, áreas, distancias, perímetros o incluso factores de forma. De este modo, si el usuario solo dispone de un número determinado de metros cuadrados en una zona no vulnerable, podrá decidir si puede construir un restaurante costero para atraer el turismo, o si en una amplia zona puede invertir para comenzar una cadena de hoteles o un complejo residencial. ¿Cuánta distancia hay desde esta posición a Pontevedra? ¿Cuántos kilómetros cuadrados mide esta superficie? Son el tipo de preguntas que nos responde este análisis (Figura 2-23) [45].

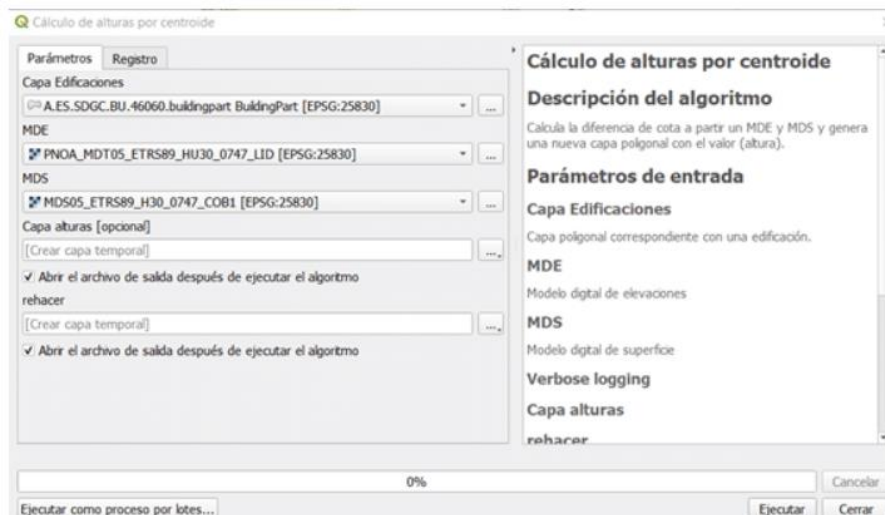


Figura 2-23 Ejemplo de uso de un SIG para realizar una medición [45]

- **Combinación de capas de datos:** este análisis es de mucha utilidad para el usuario, que recurre frecuentemente a esta herramienta porque permite combinar únicamente aquellas capas que le aporten información. Por ejemplo, si al usuario le interesa identificar las zonas que se encuentran a 2 km de la costa que tienen un tipo de suelo específico, que no se encuentran a una distancia determinada de un río y que se encuentran pobladas por más de 200 personas, combinando las capas de tipo de suelo, hidrografía y el censo obtendría el resultado [46].

- **Transformaciones:** con este análisis podríamos conseguir el resultado final al problema planteado en el apartado anterior ya que genera áreas de influencia, es decir, nos habría determinado toda la zona a 2 km de la costa. Responde a preguntas como ¿Qué puntos de las Rías Bajas tienen un hotel a menos de 5 km? [45].
- **Análisis de superficies:** podemos utilizarlo para conocer todo tipo de parámetros de la superficie de la tierra, como pueden ser la orientación y la pendiente; también podemos obtener otros datos más complicados como son la temperatura o la densidad (Figura 2-24)[45].

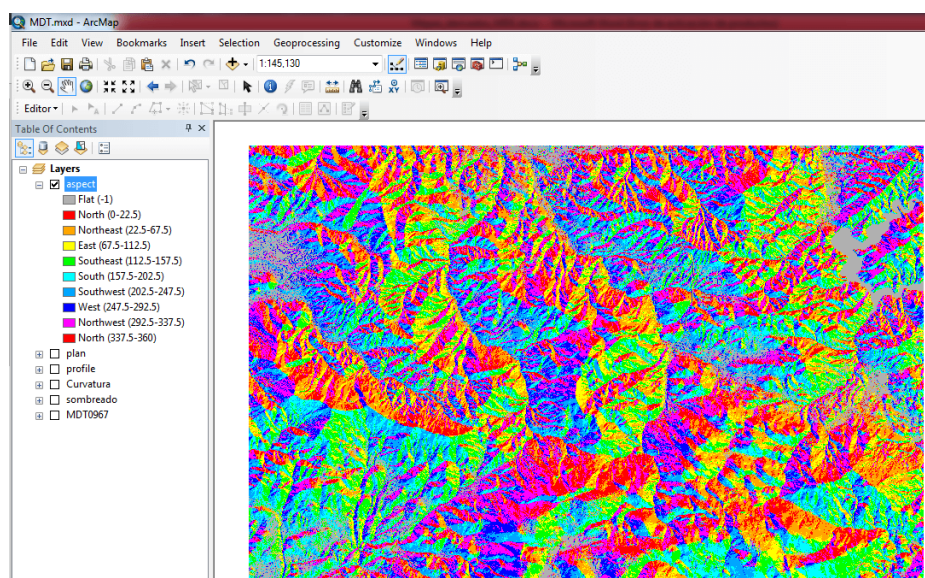


Figura 2-24 Uso de un SIG para conocer los parámetros de la superficie [48]

- **Análisis descriptivo:** los parámetros que se analizan en este apartado tienen valores cuantitativos, tales como la altura o la cantidad de dinero de cada individuo. Este análisis responde a preguntas como ¿Cómo está distribuida la cantidad de niños en Galicia? Así el usuario puede resolver dudas sobre en qué zona costera establecer un negocio de actividades infantiles en la playa [46].
- **Inferencia:** este análisis nos ofrece el resultado de cómo han ido variando ciertos aspectos con el tiempo como, por ejemplo, para conocer cómo ha aumentado el número de habitantes en las ciudades gallegas en los últimos 10 años [45].
- **Modelización:** este análisis le sirve al usuario para simular posibles situaciones del terreno en un tiempo determinado, para así poder tomar decisiones. Esta función es muy útil en el caso de estudiar la vulnerabilidad de la costa en cualquier costa del mundo y así reorganizar las edificaciones, las atracciones turísticas o incluso orientar el crecimiento de ciudades o pueblos con el fin de que en el futuro no ocurran desastres naturales. En la siguiente figura podemos observar la modelización de la Amazonia en el año 2030 (Figura 2-25) [46].

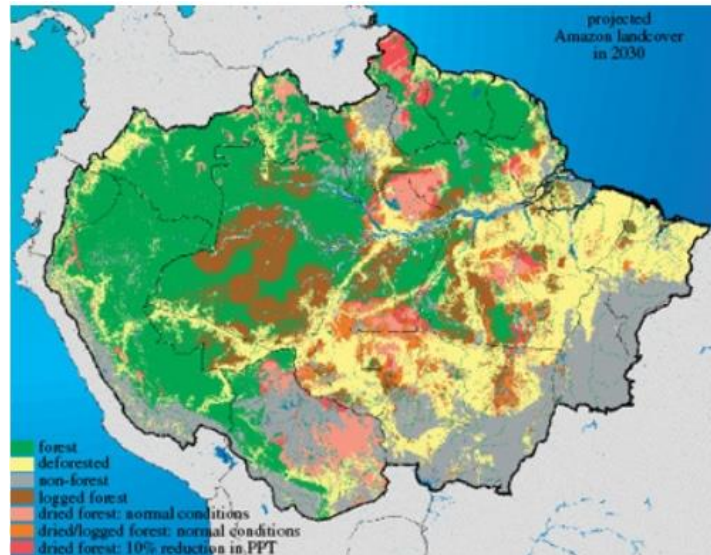


Figura 2-25 Modelización de la Amazonia en el año 2030 [45]

2.4.5 Aplicaciones de los SIG

Se enumeran a continuación algunos de los ámbitos de estudio en donde tiene cabida la utilización de las herramientas de los SIG:

- **Actividades físicas y deportivas:** como los SIG nos facilitan los mejores tramos que distan entre dos puntos A y B, podemos determinar rutas de bicicleta, rutas para salir a correr, cuáles son las mejores zonas para practicar el senderismo o diferentes actividades físicas relacionadas con el deporte, en donde el terreno cobra vital importancia. O en el ámbito militar, se aplican para escoger la mejor zona donde realizar ejercicios o rutas para realizar marchas de 20 o 30 km con las especificaciones del terreno que más interesen en ese momento (Figura 2-26) [49].

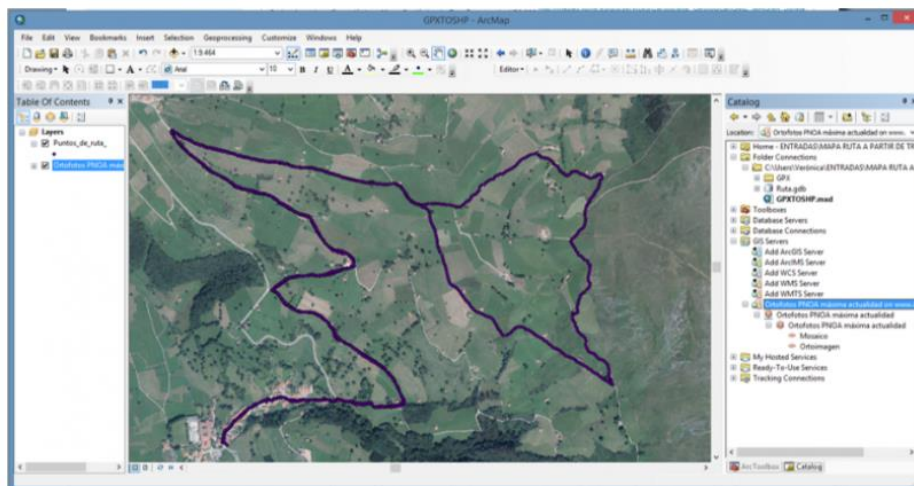


Figura 2-26 Ejemplo de uso de SIG para determinar una ruta [50]

- **Agraria:** gracias a los SIG podemos seleccionar de forma rápida todos los terrenos de un área muy extensa que cumplan con las condiciones legales para realizar esta actividad, que sean el tipo de suelo necesario, que se encuentren próximos a caudales y el resto de las condiciones que el usuario necesite para llevar a cabo una actividad agraria [51].
- **Comercio y marketing:** cada vez son más usados los SIG con el fin de determinar la mejor opción para establecer un negocio o cuáles son las mejores rutas de reparto.

- **Edificación y obra civil:** el uso de los SIG facilita el trabajo del usuario para planificar la construcción de zonas urbanas y diseñar obras civiles, determinar el uso de los suelos, etc. (Figura 2-27)[45].



Figura 2-27 Ejemplo planificación obra civil [52]

- **Electricidad y electrónica:** las empresas de telefónica y otras del sector utilizan frecuentemente los SIG para gestionar la ubicación de todos los servicios de telecomunicaciones, como la televisión por cable, inalámbrico y cableado.

Además, son numerosas las aplicaciones de los SIG en otros ámbitos, como el de la energía y el agua, la hostelería y el turismo, las industrias alimentarias, la seguridad y el medio ambiente o el transporte y el mantenimiento de vehículos [45].

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Introducción

En esta sección se detallará la metodología de trabajo empleada para la consecución de los objetivos propuestos. En resumen, los pasos a seguir son los siguientes (Figura 3-1):

1. Se identifican las variables oceanográficas más importantes para el análisis del ICV (índice de vulnerabilidad costera) para ser incluidas en el SIG.
2. Se recogen los datos de distintas fuentes: mareógrafos, boyas, buques, satélites, etc. y cada uno de distintas plataformas o páginas (Puertos del Estado, Xunta de Galicia, IGN, etc.).
3. Toda la información geográfica/oceanográfica se procesa, desde su formato original, para luego importarla en el SIG. En muchos casos, se trabaja con hojas Excel.
4. Se interpolan los datos según el caso, con la herramienta Kriging.
5. Creación de un área de influencia y determinación del ICV en esta zona.

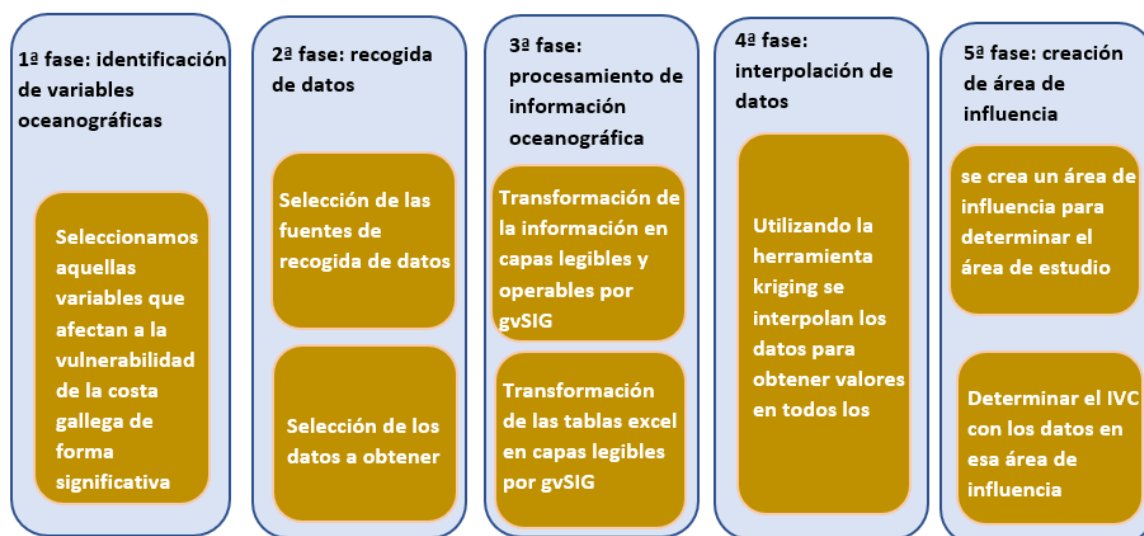


Figura 3-1 Fases de la metodología seguida (Fuente propia)

En las próximas secciones, de desarrollará la metodología, se presentarán las zonas de estudio seleccionadas, los softwares empleados, etc.

3.2 Criterios de selección y fuentes de información

3.2.1 Variables oceanográficas

Para poder determinar las zonas más vulnerables de la costa gallega debemos antes tener claro los parámetros que afectan de una forma apreciable a la vulnerabilidad de esta.

- **Nivel del mar:** esto es uno de los aspectos más importantes de nuestro estudio, ya que al año se desvanece hasta un 4% de la capa de hielo. En esta capa vamos a representar los niveles del mar respecto a una serie de datos tomados en puntos equivalentemente repartidos a lo largo de la costa gallega que nos muestran el nivel de este. Los datos recogidos por estas boyas hasta la actualidad nos proporcionan el incremento del nivel del mar, su tendencia y su situación actual. (Figura 3-2) [56].



Figura 3-2 Desvanecimiento de los casquetes polares [57]

- **Pendiente de la costa:** en muchas ocasiones es más interesante el estudio de la pendiente de la costa desde el inicio de la línea costera al interior de la tierra, que la propia batimetría, que estudia la pendiente desde la línea costera hacia el interior del mar. Esto es debido a que en caso de que el nivel del mar aumente, la distancia que se pierde en la superficie terrestre depende de la pendiente a partir de la línea costera hacia el interior de superficie terrestre y no al revés.
- **Oleaje:** este parámetro es importante para determinar cuál puede ser la altura máxima de la ola en situaciones de temporal extremo o para saber la altura media de la ola en determinadas zonas. En este caso, la capa formada por una nube de puntos distribuida a lo largo de la costa gallega nos proporciona datos actualizados de la altura de las olas, el periodo y la dirección tanto del mar de viento como del mar de fondo [58].
- **Viento:** nos permite conocer las diferentes características del viento de forma actualizada. Los datos están tomados a 10 m sobre el nivel del mar. Esto influye en el oleaje que llega a la costa gallega y por lo tanto es un parámetro fundamental para el estudio de su vulnerabilidad [59].
- **Corriente:** con boyas alejadas de la costa y con una profundidad alrededor de los 200 metros nos proporcionan información de la velocidad y dirección media de las corrientes. Esto también generará una capa, mediante la que podremos observar con una nube de puntos y datos actualizados, la evolución de las corrientes en la costa gallega (Figura 3-3) [60].

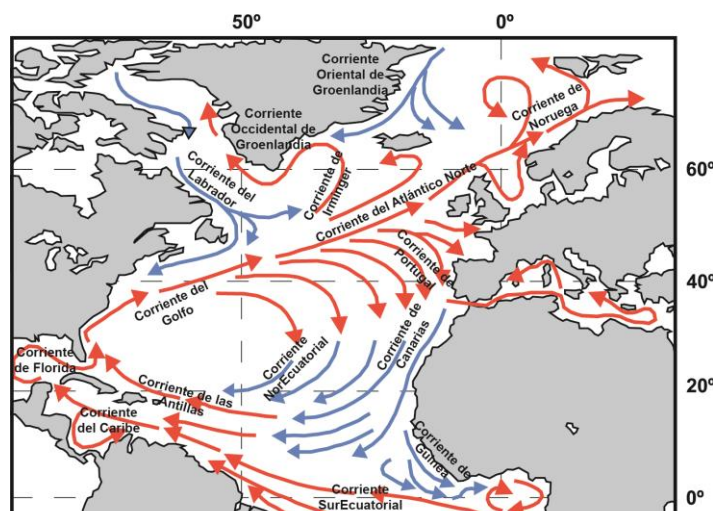


Figura 3-3 Ejemplo de corrientes oceánicas [61]

3.2.2 Fuentes de datos geográficos

Estas fuentes de datos geográficos son fundamentales cuando el usuario trabaja con programas SIG como es el caso (*gvSIG*). Esto es debido a que los programas SIG utilizan datos georreferenciados para crear las capas temáticas y para crear y representar todo tipo de información. Por ello existen personas, organizaciones, trabajos de investigación y otras actividades que una vez generadas esas capas temáticas las comparten para que el resto las pueda utilizar con otros fines de investigación. Es por ello por lo que estas organizaciones facilitan el trabajo, y son muy necesarias a la hora de trabajar con el programa *gvSIG*. Para ello existen diversas páginas abiertas y completamente gratuitas que el usuario puede utilizar para descargar los datos o capas de interés:

- **Puertos del Estado:** se trata de una organización que pertenece al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana del gobierno de España. Es una de las páginas más utilizadas para la obtención de datos ya que tiene una red de boyas repartidas a lo largo de la costa española que proporcionan distintos tipos de información. Esta página ha sido creada debido a que el Sistema Portuario Español está formado por más de 46 puertos de interés general y es de vital importancia para el comercio de España y la Unión Europea (Figura 3-4) [62].

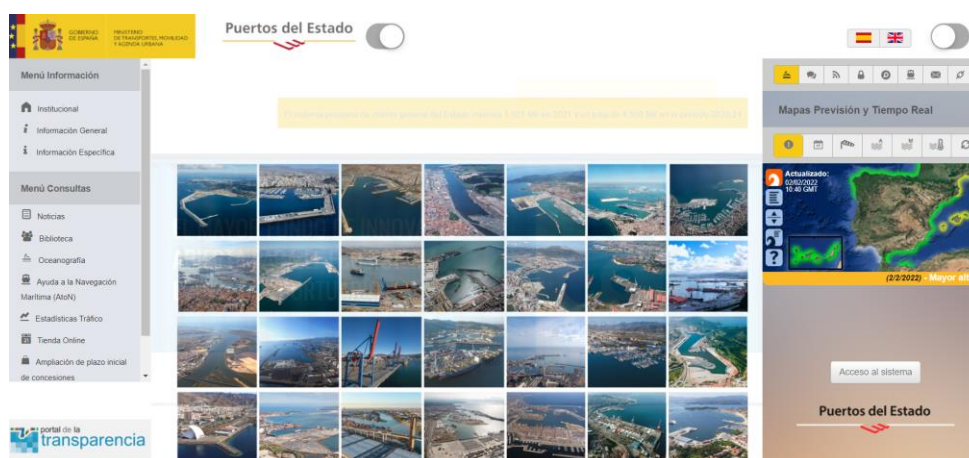


Figura 3-4 Introducción a página web Puertos del Estado [62]

La página web tiene un apartado de oceanografía donde se puede visualizar una descripción del sistema, una previsión del tiempo y del clima, previsión del oleaje o incluso proyectos.

En la parte superior derecha nos encontramos con tres cuadros que nos ofrecen datos de predicciones, tiempo real y datos históricos, los cuales van a ser de vital importancia para este estudio. En particular, los datos ofrecidos son el oleaje, el viento, la temperatura, la corriente, el nivel del mar, la agitación, la presión atmosférica y salinidad, entre otras (Figura 3-5) [62].



Figura 3-5 Datos ofrecidos por la organización Puertos del Estado [62]

Una vez se seleccionan los datos que el usuario necesita, en la imagen satélite se muestran todos los puntos georeferenciados (boyas) a lo largo de toda la costa española que tienen disponibles estos datos. Solo será necesario que el usuario seleccione los distintos puntos disponibles para descargar la información (Figura 3-6). En concreto, el usuario debe seleccionar la fecha para la que desea la información. Los datos descargados tendrán además un formato de Excel.



Figura 3-6 Distribución de las boyas de Puertos del Estado [62]

- **Instituto Geográfico Nacional (IGN):** es uno de los órganos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y una de las principales fuentes de información geográfica a nivel nacional. Ofrece diferentes servicios entre los que se encuentra IBERPIX, que permite al usuario visualizar la cartografía española, información acerca de terremotos, venta de planos físicos, etc. Pero es en el centro de descargas (Figura 3-7) donde podemos encontrar los datos de información oceanográfica y topográfica que interesan para este estudio[63].



Figura 3-7 Centro de descargas de IGN [63]

En el centro de descargas podemos encontrar diferentes secciones, las cuales poseen distintos tipos de información y en distintos tipos de formato, como podemos observar en la Figura 3-8. En ella encontramos por ejemplo, mapas en formato ráster a distintas escalas 1:200.000, 1:500.000, 1:1.250.000. Por si el usuario tiene necesidades especiales de información, en la sección de información geográfica de referencia encontramos los planos o capas de transportes, hidrografía, poblaciones, línea de costa, límites municipales y otros más. Podemos encontrar también ortofotos, mapas topográficos nacionales, mapas de peligrosidad por inundación fluvial, mapas de peligrosidad por inundación costera, cartografía antigua o modelos digitales del terreno entre otros [63].

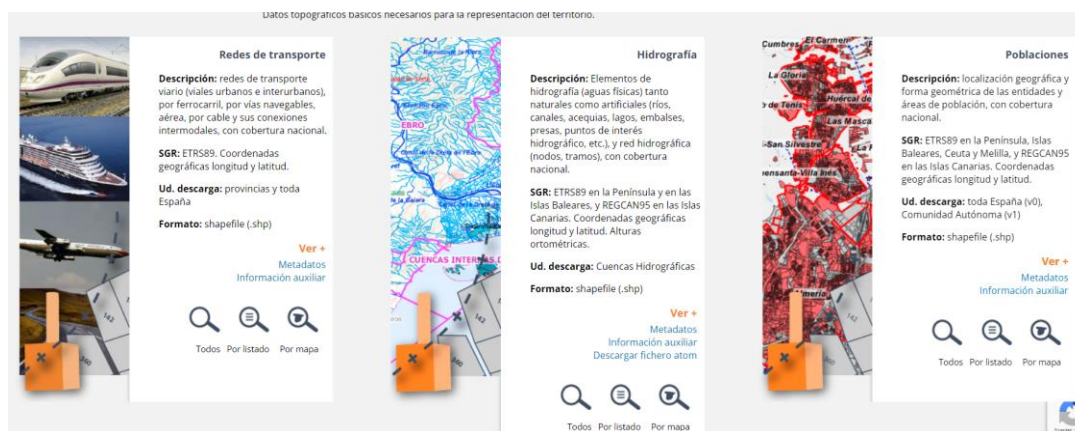


Figura 3-8 Productos dentro de la sección Información geográfica de referencia [63]

Una vez que seleccionamos el producto de interés, podemos descargarlo de diferentes formas. Lo más sencillo y útil será hacerlo por mapa, para lo cual, una vez hagamos clic en este lugar nos dirigirá a una vista del mapa de España, donde tendremos también diferentes formas de encontrar la zona de interés, ya sea por hojas, introduciendo las coordenadas, buscando por parcelas, buscando por punto, creando nuestro propio polígono de interés o por división administrativa. Esta última opción será la que usaremos en nuestro proyecto. Seleccionando la búsqueda por división administrativa, esta nos permite buscar por Comunidad Autónoma y elegir únicamente Galicia (Figura 3-9). Una vez seleccionada, se desplegará una pestaña con los diferentes productos, la fecha, el formato del archivo y su tamaño. Deberemos tener en cuenta sobre todo el formato del archivo, ya que no todos los que nos proporciona IGN son compatibles con nuestro programa gvSIG [63].

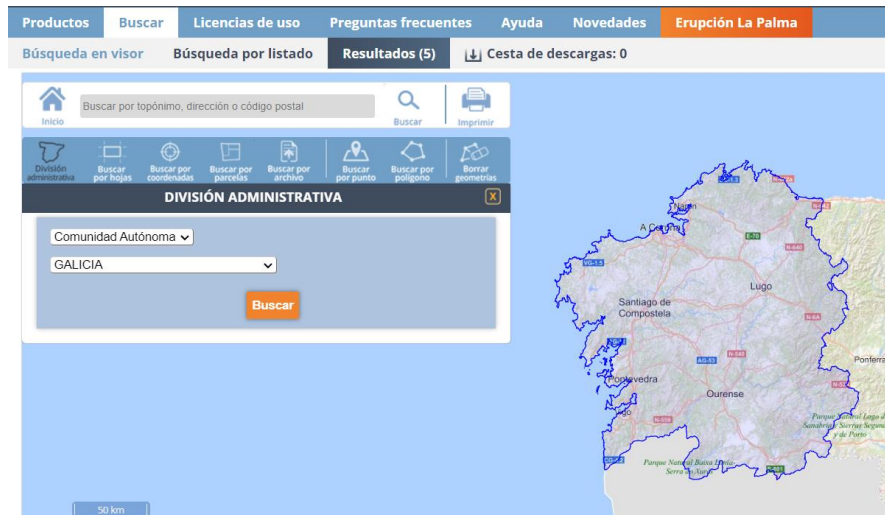


Figura 3-9 Ejemplo de descarga de datos en la comunidad de Galicia [64]

- **Información geográfica de Galicia:** esta página nos aporta datos especializados de Galicia, nuestra zona de interés. Contiene una herramienta que permite visualizar la cartografía e imágenes de Galicia desde diferentes fuentes. También permite localizar datos cartográficos tales como el uso del suelo, ortoimágenes, instalaciones y muchas más opciones. La herramienta que más nos interesa para la realización del trabajo se encontrará en la pestaña de mapas, donde se ofrece la posibilidad al usuario de buscar y descargar distintos ficheros de información geográfica a partir de su distribución en mallas geográficas. Dispone de una gran variedad de productos, ficheros de elevación, productos de información geográfica y muchos más (Figura 3-10). Simplemente seleccionando el archivo, se descargará en un formato zip que deberemos descomprimir [64].

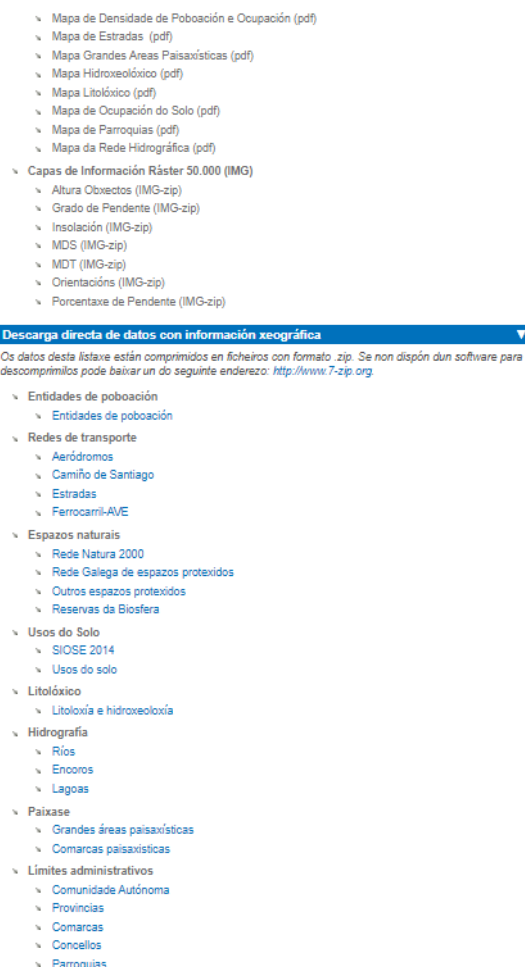


Figura 3-10 Productos ofrecidos en la página Información geográfica de Galicia [64]

3.3 Herramientas de trabajo

3.3.1 GvSIG

Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica, estas son las siglas del programa que vamos a utilizar para realizar este trabajo. Se trata de un proyecto en software libre que desarrolla Sistemas de Información Geográfica. A pesar de que existen varias aplicaciones y programas que tratan la información geográfica, lo que diferencia a *gvSIG* del resto y por lo que lo hemos elegido, son los servicios OGC que ofrece, entre ellos se encuentra *WMS* (*Web Map Service*), *WFS* (*Web Feature Service*) y *WCS* (*Web Coverage Service*).

GvSIG permite tratar información vectorial y rasterizada: los formatos vectoriales más comunes con los que podemos trabajar son GML, SHP, DXF, DWG, DGN Y KML; por otra parte, los formatos ráster más comunes son MrSID, GeoTIFF, ENVI o ECW [65].

Las principales ventajas o características para trabajar con *gvSIG* es que como hemos comentado anteriormente, tiene acceso a los formatos vectoriales y ráster más habituales y a la oferta de los servicios OGC; tiene una aceptación e implementación muy alta, ya que por una parte administraciones publicas lo han instalado, tanto en España como en el resto del mundo, y por otra parte es un programa muy utilizado por los usuarios a nivel individual. Esto provoca que haya una gran comunidad que crea y comparte de forma gratuita información, capas base y datos a otros usuarios para que estos puedan utilizarlos; también tiene un componente I+D+i muy importante lo que favorece el desarrollo de trabajos a nivel universitario; progresión continua en el tiempo de su mejora y actualización; y por último, dispone de una interfaz fácil de entender y cómoda para trabajar, además de en varios idiomas.

Otra de las principales causas de escoger *gvSIG* es el haber realizado prácticas con este programa en la asignatura de Fundamentos de Topografía durante el cuarto curso de la carrera cursada [65].



Figura 3-11 Icono de la herramienta *gvSIG* [50]

La utilización de *gvSIG* nos permite llevar a cabo diferentes operaciones con la información que cargamos en él. Esto nos va a permitir estudiar y analizar esta información con diferentes fines, y se hace mediante operaciones como pueden ser la consulta, la cual nos da información o nos permite medir distancias y áreas; edición gráfica, que nos permite copiar elementos, hacer simetría de ellos, rotar e incluir puntos, líneas, polilíneas; también nos permite visualizar la tabla de atributos de cualquier elemento, esta contiene todos los datos característicos del elemento seleccionado; permite la creación de mapas, incluyendo en ellos un cajetín, una escala, el Norte, diversos símbolos, leyenda, escala, imagen o texto; y también operaciones de geoprocésamiento, las cuales son muy recurrentes por el usuario para conseguir de los datos introducidos información valiosa, ya que por ejemplo, nos permite determinar el área de influencia, recortar, la intersección, la unión, la diferencia y muchas más (Figura 3-12). A continuación, vamos a desarrollar las más utilizadas en el trabajo [66].

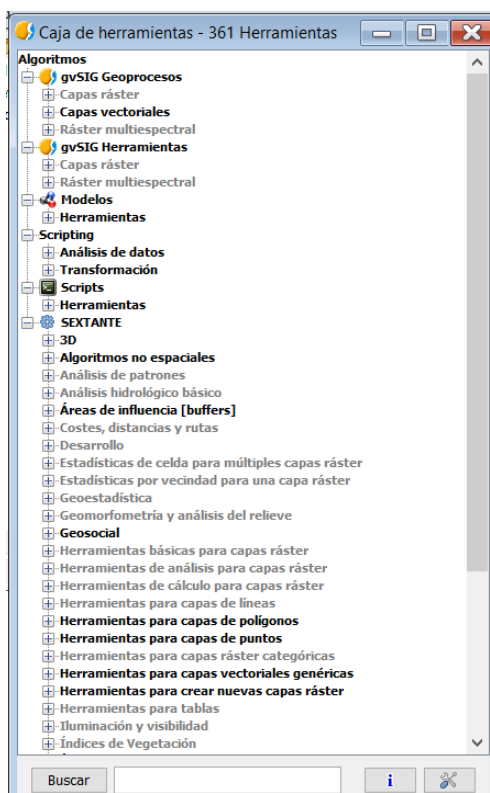


Figura 3-12 Caja de herramientas de geoprocésamiento (Fuente propia)

1. Filtro:

Mediante esta operación se pueden hacer consultas con criterios específicos sobre cada uno de los campos de la tabla asociada. La estructura que sigue la operación será siempre campo-operador-valor [66]. A continuación, se muestra un ejemplo para filtrar el campo de las provincias de Pontevedra donde nos quedaremos únicamente con aquellas que tienen costa (Figura 3-13). Para ello seleccionamos la herramienta de *Filtro* y se abrirá un cuadro, donde seleccionaremos el campo, que en este caso será “provincias”. Seleccionamos el operador que puede ser “=” “<” “>” u otros, introduciendo el valor que queremos. Ese campo pasará a color amarillo, que representará a la provincia de Pontevedra. Por último, pulsaremos en *Filtrar la selección*, una vez hecho esto, deberemos exportar la capa de provincias a formato *Shapefile* y entonces obtendremos una nueva capa únicamente de Pontevedra.

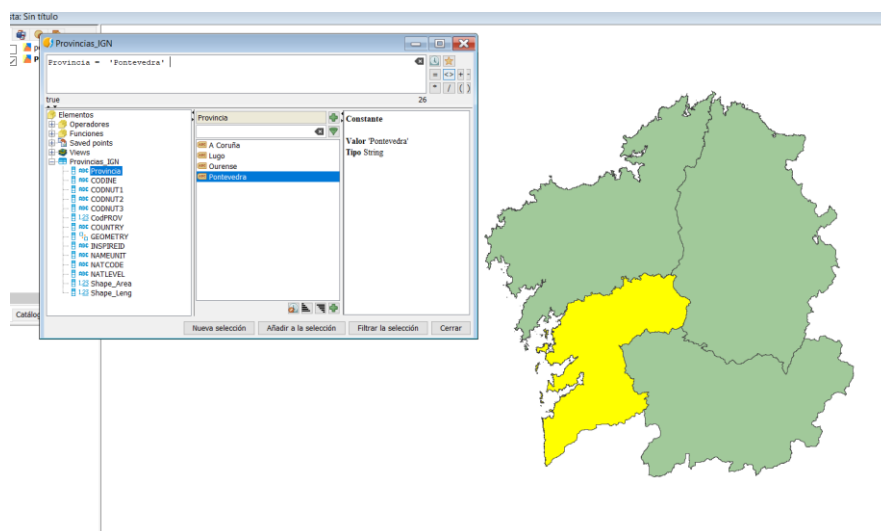


Figura 3-13 Filtrado de la provincia de Pontevedra (Fuente propia)

2. Intersección:

Esta capa permite al usuario introducir una capa de entrada, una capa de salida y formar una nueva capa que contenga la intersección (campos coincidentes en las dos capas) de las capas anteriores [66].

A continuación se muestra un ejemplo de la intersección entre la capa de Pontevedra, con una nueva capa que llamaremos “Concellos” y que contiene todos los ayuntamientos de la Comunidad Autónoma de Galicia. Para ello pulsamos en “Herramientas”, “Intersección” y después seleccionamos las capas de entrada “Concellos” y “Pontevedra” y siendo la capa de salida una nueva capa. Por lo que el resultado será una capa con los concellos de Pontevedra únicamente (Figura 3-14).

Esta función también permite al usuario asignar un campo de tiempo temporal, que será útil en el caso de que utilizemos tablas procedentes de sensores, ya que hay múltiples variables y todas ellas corresponden al mismo sensor.

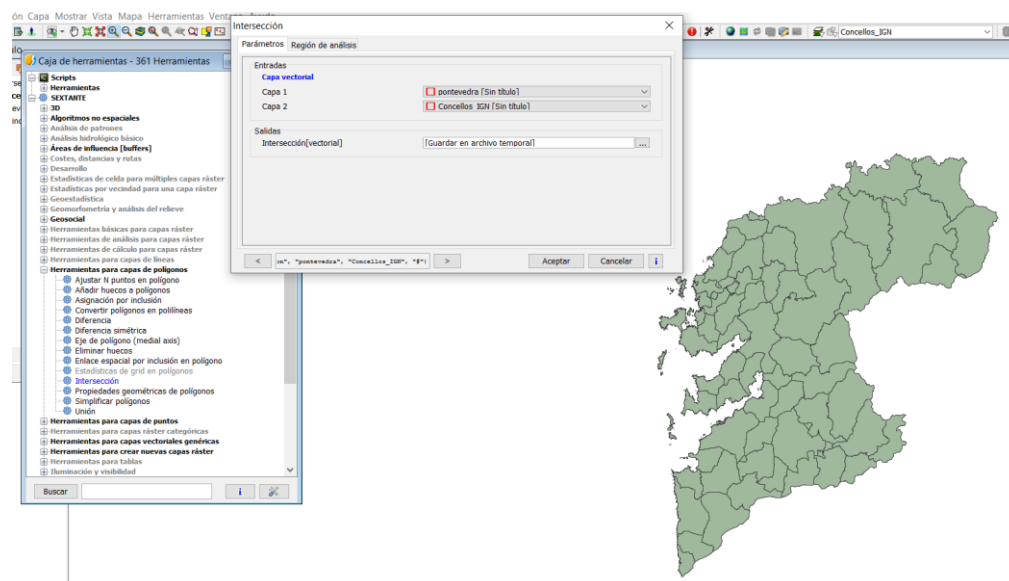


Figura 3-14 Intersección entre la capa de concellos y la capa de Pontevedra (Fuente propia)

3. Área de influencia:

Se trata de una herramienta dentro del geoprocesamiento, enmarcada a su vez dentro de las herramientas que establecen análisis de proximidad. La zona o área de influencia es una de las herramientas más utilizadas que permite obtener nueva información, como puede ser, por ejemplo, los hoteles que se encuentran en un radio de 20 kilómetros desde un domicilio o de la Puerta del Sol [66].

Se puede realizar el área de influencia, también llamado *buffer*, sobre un punto, una línea o incluso sobre polígonos. En el caso siguiente vemos un área de influencia sobre la Ría de Pontevedra (Figura 3-15).

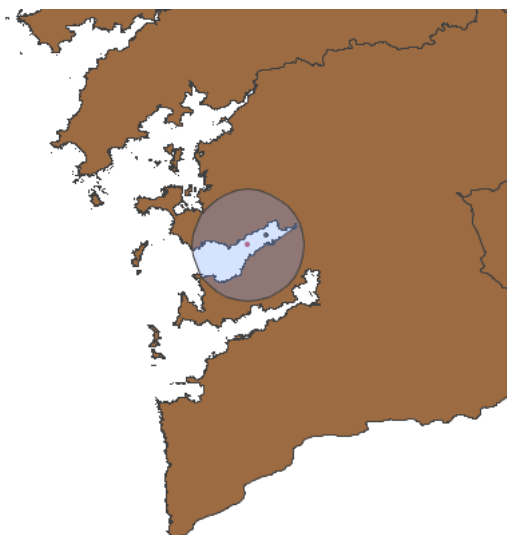


Figura 3-15 Área de influencia sobre la Ría de Pontevedra (Fuente propia)

Esta herramienta también permite crear varias áreas de influencia sobre distintos puntos, y combinarlas todas en caso de que se encuentren solapadas para crear una única área de influencia (Figura 3-16).

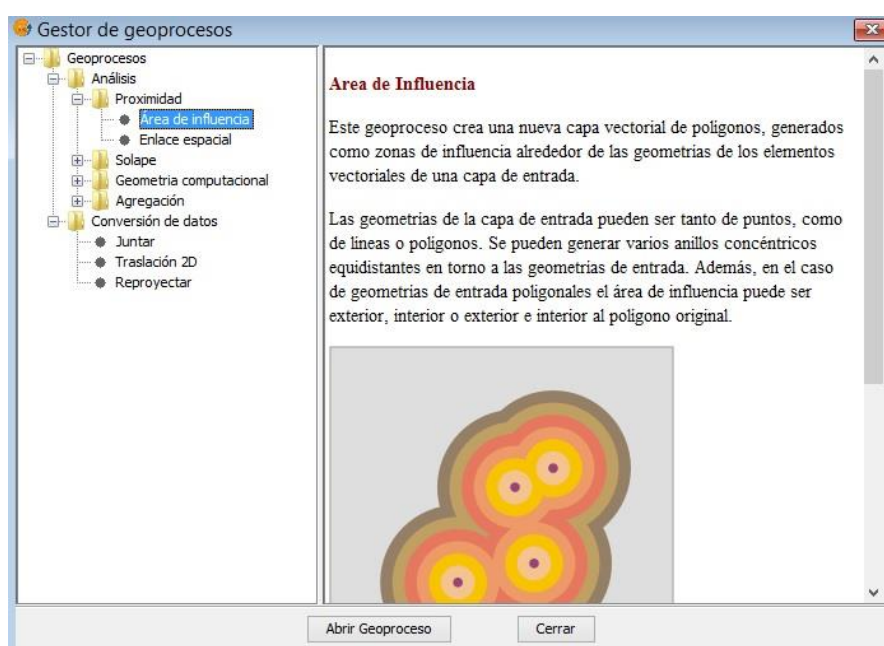


Figura 3-16 Solape de varias zonas de influencia [67]

Dentro de la opción de área de influencia, podemos crear un *buffer* sobre una polilínea, de tal forma que al igual que en el caso anterior crearemos un área de influencia a una distancia determinada, fija o variable, desde la línea creada (Figura 3-17). Esta opción en particular será de mucha ayuda para el presente trabajo ya que es una herramienta muy interesante a la hora de trabajar con la línea costera.



Figura 3-17 Área de influencia de distancia fija de 40 metros sobre una línea (Fuente propia)

3.3.2 ArcMap

ArcGIS engloba un conjunto de productos software, dentro del ámbito SIG. Este nos permite la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Todo esto *ArcGIS* lo realiza mediante varias aplicaciones, donde destacan *ArcGIS Móvil* y *ArcGIS Desktop*, y dentro de esta última se utilizan herramientas como *ArcReader*, *ArcCatalog*, *ArcToolbox*, *ArcScene*, *ArcGlobe* y por último *ArcMap* [68].

Siendo *ArcMap* la que vamos a utilizar en nuestro caso, esta herramienta permite al usuario visualizar y explorar los dataset SIG de su área de estudio y crear los diseños de mapas que ayuden a la creación de nueva información [68].

A continuación, mencionaremos varias de las tareas que *ArcMap* permite realizar al usuario:

- Permite trabajar con mapas y capas, navegar por ellos, consultar los atributos y la información de las capas o visualizar toda la información geográfica.
- Permite la edición de mapas y capas, de modo que la nueva información creada y actualizada se guarda en el dataset de la capa.
- Utilizar el geoprocésamiento para automatizar el trabajo y realizar análisis a la información en capas que disponemos para la obtención de conclusiones o nueva información que ayude al usuario a resolver problemas. También ayuda al usuario a automatizar muchas de las tareas rutinarias.
- Como hemos comentado anteriormente, en torno a este software se crea una comunidad SIG que facilita el uso compartido de información y *ArcMap* no se queda atrás y permite compartir mapas, capas, modelos de geoprocésamiento o geodatabases con otros usuarios, empaquetando datasets SIG.



Figura 3-18 Logotipo de ArcMap [69]

Una de las principales funciones para las cuales vamos a utilizar ArcGIS y dentro de este el software de ArcMap es para realizar interpolaciones. Debido a que, para representar más adelante el viento, la corriente y el nivel del mar, disponemos de información proporcionada por puntos SIMAR (boyas) que nos proporcionan esa información en unos puntos del mar específicos. Sin embargo, tenemos la necesidad de conocer esa información en todos los puntos de la costa gallega, y para eso procederemos a interpolar la información [68]. Cuantos más puntos SIMAR tengamos para realizar la interpolación, mayor precisión tendrá la información que obtengamos en los distintos puntos de la costa.

Para ello en primer lugar debemos crear un Excel con la información de las distintas boyas, la última de la que disponemos temporalmente. A continuación, hay que introducir en dos columnas distintas las coordenadas en UTM ETRS89 ZONA29N, y a continuación el atributo o característica que vamos a interpolar, ya sea la velocidad de la corriente, la dirección del viento o el nivel del mar.

Una vez creado el Excel procedemos a introducirlo en ArcMap y posteriormente a representarlo en una capa donde introducimos lo que serán las coordenadas X e Y. Posteriormente, este archivo lo exportamos a una capa de tipo Shapefile, y obtendremos sobre la pantalla los puntos representados geográficamente.

Una vez tenemos una capa Shapefile con los puntos SIMAR, procedemos en la pestaña de ArcToolbox a desplegar “Spatial Analyst Tools”, después procedemos a seleccionar “Interpolation” y de las distintas formas de interpolar seleccionamos “Kriging”. Una vez seleccionado procedemos a introducir la capa, y dentro de esta el atributo que queremos interpolar (si será esférica, circular, lineal, gaussiana o exponencial) y el área en el que queremos llevar a cabo la interpolación. Normalmente realizaremos un área grande que nos permita posteriormente superponer la capa de Galicia y que tengamos de forma clara el área de estudio que queremos.

El usuario desplegando “Trend Analysis” tiene acceso a la información de manera visual en 3D. Por último, al realizar la interpolación seleccionaremos el tipo, normalmente ordinaria.

El objetivo final de este trabajo es crear una base de datos con toda la información oceanográfica que a continuación se explicará de donde se obtiene, cuál es la que nos interesa y porqué. Esta base de datos debe contener toda la información necesaria para poder evaluar la vulnerabilidad de la costa en Galicia, tanto de forma independiente cada parámetro utilizado, como la posibilidad de intersecar varios de estos parámetros para obtener un resultado que el usuario necesite. En nuestro caso intersecaremos todos los parámetros para calcular el Índice de Vulnerabilidad costera [15].

3.4 Descripción de la metodología

Vamos a utilizar una capa que nos permita analizar únicamente nuestra zona de interés, es decir la costa gallega. Esto permitirá a continuación intersecar esta capa con los distintos parámetros a estudiar de uno en uno y extraer conclusiones. Para ello iremos paso a paso intersecando la capa de Galicia con las distintas capas, o añadiendo esta información en forma de datos integrados en una tabla Excel, la cual integraremos en la capa de Galicia.

3.4.1 Capa de Galicia

Lo primero que vamos a hacer es encontrar esa capa de Galicia en formato .shp, de manera que nos proporcione la información que necesitamos, que delimite la comunidad autónoma de Galicia y sobre todo su costa.

Para ello debemos acudir a la página oficial de la Xunta de Galicia (Figura 3-19), desde donde podremos acceder a la pestaña de “Mapas” e ir al centro de descargas para obtener los límites administrativos con archivos de provincias y ayuntamientos de la región gallega (Figura 3-20).

Al descargar estos dos archivos, los obtendremos en formato .zip. Los tendremos que descomprimir para conseguir la capa de provincias y de comarcas de Galicia en formato .shp para poder trabajar con ellas en nuestro programa *gvSIG* [64].



Figura 3-19 Portal de descargas de la Xunta de Galicia [64]

- ↳ Ferrocarril-AVE
- ↳ Espazos naturais
 - ↳ Rede Natura 2000
 - ↳ Rede Galega de espazos protexidos
 - ↳ Outros espazos protexidos
 - ↳ Reservas da Biosfera
- ↳ Usos do Solo
 - ↳ SIOSE 2014
 - ↳ Usos do solo
- ↳ Litolóxico
 - ↳ Litoloxía e hidroxeoloxía
- ↳ Hidrografía
 - ↳ Ríos
 - ↳ Encoros
 - ↳ Lagoas
- ↳ Paixase
 - ↳ Grandes áreas paisaxísticas
 - ↳ Comarcas paisaxísticas
- ↳ Limites administrativos
 - ↳ Comunidade Autónoma
 - ↳ Provincias
 - ↳ Comarcas
 - ↳ Concellos
 - ↳ Parroquias

Figura 3-20 Información ofrecida por el centro de descargas de la Xunta de Galicia[64]

Lo primero que debemos hacer cuando abrimos la nueva vista y cargamos la nueva capa temática provincias de Galicia es georreferenciarlas con EPSG25829 (Datum ETRS89), para que de esta forma todos los datos o capas que introduzcamos tengan el mismo Datum y coincidan sus localizaciones. De esta manera evitamos desfase, como puede ocurrir entre los datum ED50 Y ETRS89. La capa de provincias se cargará, y posteriormente accederemos a sus propiedades para cambiar la simbología utilizando la opción *Valores únicos*, gracias a la cual podremos diferenciar visualmente las diferentes provincias (Figura 3-21).

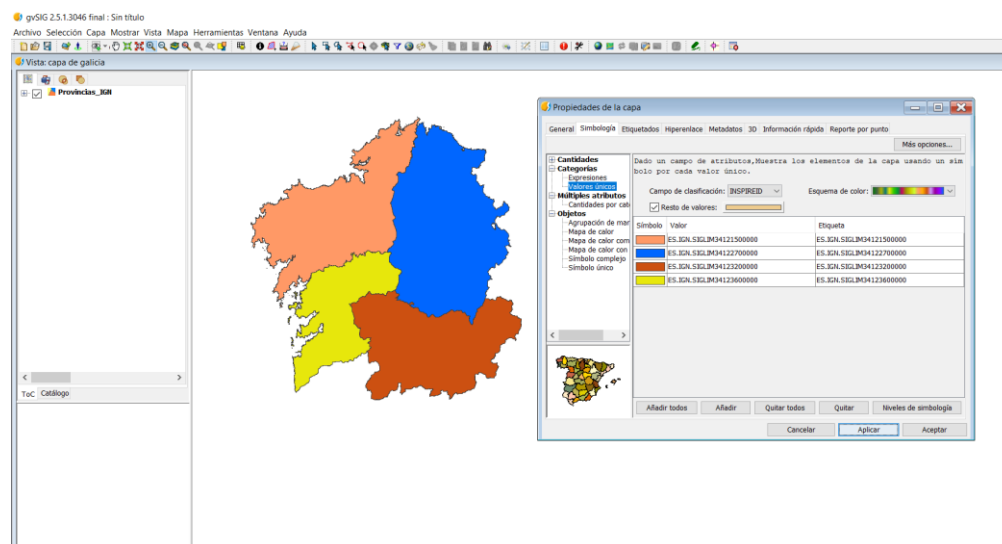


Figura 3-21 Vista de la Comunidad Autónoma de Galicia dividida en provincias (Fuente propia)

A continuación seleccionamos las provincias de Pontevedra, A Coruña y Lugo y las exportamos a una nueva capa que llamaremos “*Provincias_con_costa.shp*”. Para ello, con la herramienta de selección por atributos en la barra superior, seleccionamos aquellas provincias que nos interesen: “provincia” =”Pontevedra” “A coruña” “Lugo”. A continuación, exportamos la selección a una nueva capa .shp que llamaremos “*Provincias_con_mar*” donde encontramos unicamente las tres provincias seleccionadas, pues son aquellas que tienen costa (Figura 3-22).

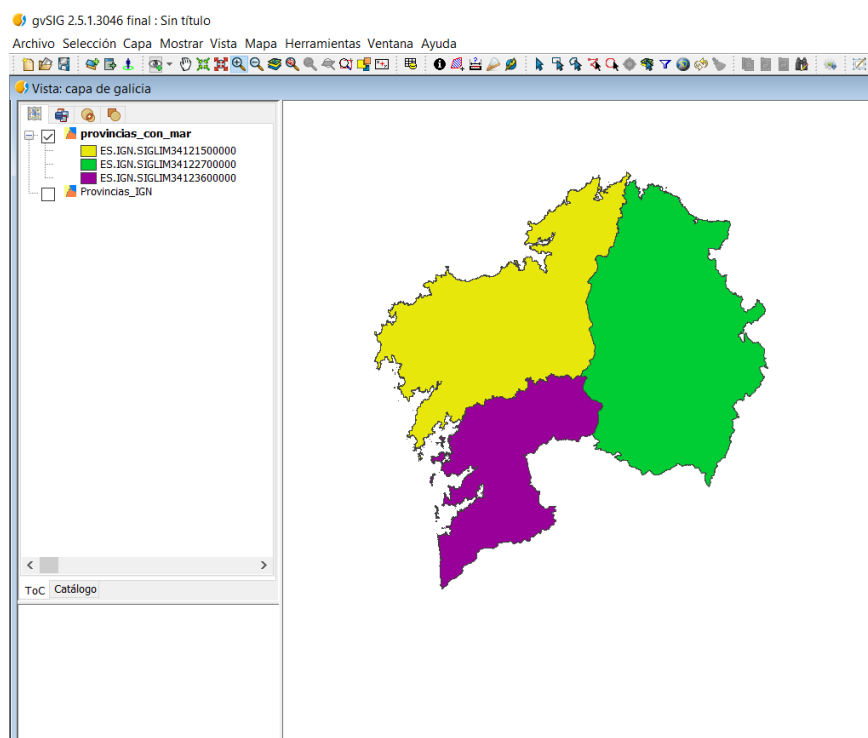


Figura 3-22 Selección de las provincias de A Coruña, Lugo y Pontevedra (Fuente propia)

A continuación, vamos a añadir la capa de concellos descargada anteriormente en la página oficial de la Xunta de Galicia; lo realizaremos de la misma forma que hicimos con las provincias, una vez añadida la capa observamos el resultado (Figura 3-23), mostrándonos todos los concellos de la Comunidad Autónoma de Galicia.

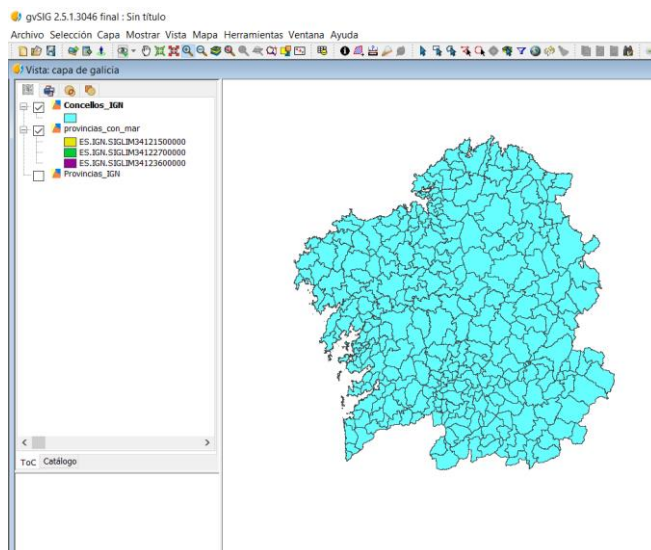


Figura 3-23 Capa temática Concellos de Galicia (Fuente propia)

Una vez introducida la capa temática de Concellos de Galicia, seleccionamos en la pestaña de *Herramientas* > *Geoprocesamiento*, que nos va a permitir llevar a cabo distintas operaciones geoespaciales con las capas temáticas que hayamos introducido en la vista. Procedemos a intersectar las capas “Concellos” con la capa generada anteriormente “Provincias_con_mar” de tal forma que obtenemos como resultado una imagen de los concellos de Galicia únicamente en las tres provincias que nos interesan (Figura 3-24), ya que son las que tienen costa.

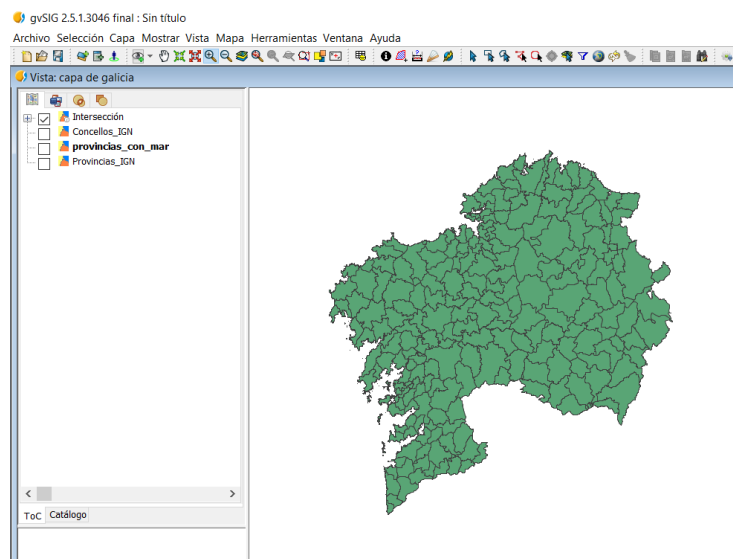


Figura 3-24 Concellos de Galicia en las 3 provincias de interés para el estudio de la vulnerabilidad de la costa (Fuente propia)

Una vez finalizadas las operaciones anteriores, tendremos una capa con el área de interés a estudiar, constituida por las tres provincias gallegas que poseen costa, divididas asimismo en ayuntamientos para poder determinar de manera más sencilla en qué zonas afectan los parámetros que estudiaremos a continuación o qué zonas son vulnerables. Además una vez definida esta capa, nos servirá como base para poder ir integrando a continuación los parámetros estudiados y haciendo con esta diferentes operaciones de geoprocesamiento.

3.4.2 Viento

Es el primer factor que vamos a tener en cuenta para el estudio de la vulnerabilidad y para ello recurrimos a la fuente de datos que hemos mencionado anteriormente, Puertos del Estado.

Puertos del Estado nos ofrece todo tipo de datos (Figura 3-25) pero nosotros estaremos interesados en recoger los datos de viento, corriente y nivel del mar, ya que son tres parámetros que influyen de manera significativa en la vulnerabilidad de la costa gallega.

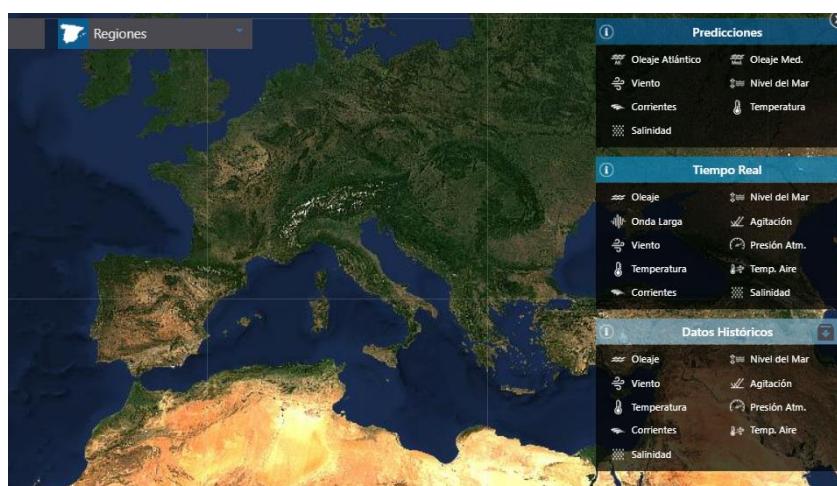


Figura 3-25 Datos ofrecidos por Puertos del Estado [62]

Al seleccionar los parámetros del viento se mostrarán sobre el mapa los puntos en los que esta información se recoge. Dichos puntos sobre el mapa representan la localización geográfica en la que se encuentran las boyas instaladas por el Gobierno de España (Figura 3-26). Existen ciertas boyas que nos

aportan datos de corriente, otras ofrecen datos del viento o del nivel del mar y otras que nos aportan varios datos a la vez.

Una vez seleccionamos las boyas de las que queremos obtener la información previamente fijada, nos permitirá añadir hasta 5 datos para descargarlos de forma simultánea; a continuación podremos descargar otros 5, y así sucesivamente.



Figura 3-26 Localización de los datos ofrecidos por Puertos del Estado [62]

Una vez accedemos a la página observamos todas las boyas o puntos SIMAR que podemos seleccionar que nos ofrecerán información relativa al viento (Figura 3-27). De todos ellos haremos una selección de 10 puntos SIMAR distribuidos de forma homogénea a lo largo de toda la costa gallega.

Una vez seleccionados los puntos procedemos a la solicitud de la descarga de estos. Cuando tenemos la información en nuestro poder, como hemos explicado anteriormente, debemos convertir este Excel en un formato legible por *gvSIG* y por otros programas SIG.



Figura 3-27 Puntos SIMAR con información relativa al viento [62]

Entre los datos que nos ofrece la información facilitada, están presentes la velocidad del viento en m/s y la dirección del viento (0=N,90=E). Esta información aparece a lo largo de distintos años, sin embargo vamos a seleccionar el dato más actual. En la mayoría de las ocasiones los datos son horarios, por lo que debemos realizar una media entre los últimos datos para que esto no desvirtue la realidad.

En este caso escogeremos todos los datos que nos ofrece, la velocidad y la dirección del viento y creamos un nuevo documento Excel donde se encuentren los 10 puntos SIMAR seleccionados con los últimos datos temporalmente, y deberemos añadir dos columnas donde introduciremos las coordenadas

UTM de cada boya. Debemos realizar la conversión de coordenadas geográficas (ya que son las que Puertos del Estado nos facilita) a coordenadas UTM ETRS89 ZONA 29N.

Cada punto SIMAR descargado nos proporcionará una tabla Excel como la que se muestra a continuación (Figura 3-28).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Valor nulo: -9999.9							
2	Fecha (GMT)Velocidad del viento(m/s)Direc. del Viento(0=N,90=E)							
3	1990 01 01 003.7242							
4	1990 01 01 014.4280							
5	1990 01 01 024.1289							
6	1990 01 01 033.7282							
7	1990 01 01 043.5273							
8	1990 01 01 053.2268							
9	1990 01 01 062.7267							
10	1990 01 01 072.4267							
11	1990 01 01 082.1264							
12	1990 01 01 092.0261							
13	1990 01 01 102.0258							
14	1990 01 01 112.4253							
15	1990 01 01 122.7243							
16	1990 01 01 133.0230							
17	1990 01 01 143.3218							
18	1990 01 01 153.8212							
19	1990 01 01 163.6213							
20	1990 01 01 173.4210							
21	1990 01 01 183.4202							
22	1990 01 01 193.6194							
23	1990 01 01 203.7189							
24	1990 01 01 214.0185							
25	1990 01 01 224.2184							
26	1990 01 01 234.5181							
27	1990 01 02 004.8180							

Figura 3-28 Datos descargados de Puertos del estado (Fuente propia)

El Excel nos proporciona la fecha en la que cada dato ha sido tomado. Los datos de los que disponemos tienen un intervalo de una hora desde el 1 de enero del año 2000 hasta la actualidad, o incluso desde antes, dependiendo de la variable, por lo que nosotros haremos una selección únicamente de los datos más actuales. La tabla nos proporciona además otros datos que omitiremos ya que no son de interés para este estudio.

Para poder introducir una tabla Excel en nuestro programa *gvSIG* debemos realizar antes diferentes cambios en ella. En primer lugar debemos separar en diferentes columnas toda la información para así tenerla diferenciada. A continuación seleccionaremos los datos de cada una de las ubicaciones y las exportaremos a otro Excel para poder trabajar con él.

En este nuevo Excel, debemos incluir el nombre de cada ubicación y sobre todo sus coordenadas, las cuales nos las proporciona la página web Puertos del Estado; sin embargo, no están incluidas en el Excel que contiene los datos, por lo tanto, debemos acceder a ellas en la página oficial y realizar la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM ETRS89 como hemos mencionado anteriormente.

Es fundamental incluir las coordenadas en el Excel ya que todos los datos que introducimos en nuestro programa *gvSIG* deben estar georreferenciados, para que a la hora de trabajar con nuestra capa de la costa gallega estén situados en el punto correcto.

Por último debemos hacer que nuestro archivo sea legible por *gvSIG*. Este será CSV (delimitado por comas) para que no haya ningún problema cuando lo abramos con el programa *gvSIG* (Figura 3-29).

Descargada la información correspondiente, entre todos los datos que nos ofrece, únicamente seleccionaremos velocidad del viento en m/s, dirección de propagación del viento (0=N,90=E).

	A	B	C	D	E	F
1	NOMBRE	VELOCIDA	DIRECCIO	UTMX	UTMY	
2	3014000	2,12	69	506500	4649646	
3	3014007	3,48	16	506470	4681846	
4	3009017	4,6	51	489228	4728489	
5	3004024	2,53	71	472975	4760738	
6	3012032	2,29	127	499874	4797334	
7	3021033	1,68	102	529847	4802953	
8	1046074	2,2	129	540298	4816336	
9	3031039	1,46	151	563617	4829846	
10	3040044	2,25	137	593955	4853520	
11	3049042	1,96	189	623871	4845122	
12						
13						
14						
15						

Figura 3-29 Transformación de la hoja Excel para su representación en SIG (Fuente propia)

Si introducimos estos puntos en *gvSIG* se representarán mediante puntos y mediante la tabla de atributos podremos observar la información del viento y la de la velocidad. Sin embargo, esto no nos proporciona información a lo largo de toda la costa gallega para así determinar las zonas más vulnerables.

Por lo tanto debemos interpolar estos puntos para crear una malla que nos proporcione esta información a partir de estos puntos, en las zonas que a nosotros nos interese. Para ello procedemos a utilizar ArcMAP de ArcGIS, la cual nos permitirá interpolar estos datos de la siguiente manera.

Introducimos la tabla Excel en ArcMAP y posteriormente la exportamos creando los puntos referenciados geográficamente (Figura 3-30), para ello seleccionamos las columnas de UTMx y UTM y que anteriormente hemos creado en el Excel y seleccionamos el sistema de coordenadas geográficas necesario (ETRS_1989_UTM_Zone_29N).

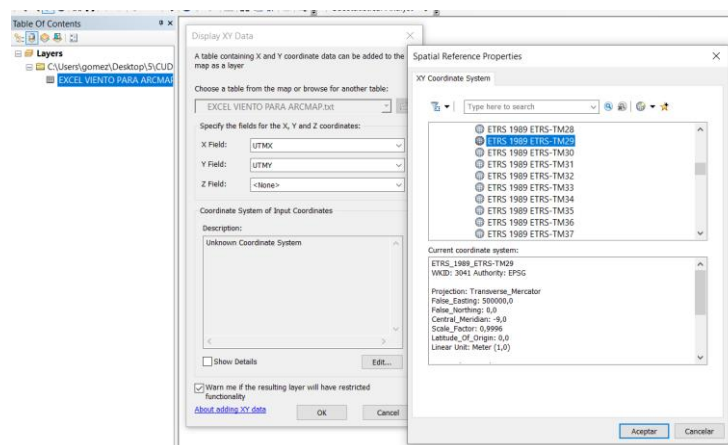


Figura 3-30 Establecimiento de la referencia geográfica de los puntos SIMAR (Fuente propia)

Una vez realizado esto, obtenemos el resultado (Figura 3-31) y posteriormente pasamos a realizar la interpolación de ellos mediante Kriging.

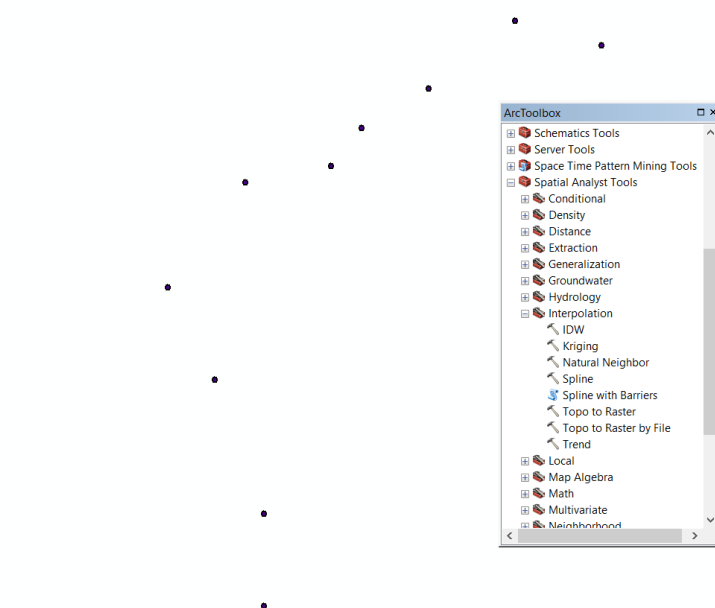


Figura 3-31 Representación de los puntos SIMAR (Fuente propia)

La interpolación nos va a permitir crear una superficie continua a partir de datos puntuales de una capa ráster o de un polígono. Existen 3 tipos de interpolación: determinística, estadística o creación de superficies. Kriging se encuentra dentro de la interpolación estadística y la escogemos ya que Kriging realiza un análisis previo a la variable a interpolar.

Vamos a utilizar el Kriging ordinario, donde introduciremos el atributo a interpolar y el área que queremos para nuestro estudio: en nuestro caso, seleccionaremos un área de estudio grande ya que posteriormente en *gvSIG* deberemos añadir la capa de provincias de Galicia superpuesta a nuestra interpolación.

1. Dirección del viento

Una vez seleccionados todos los parámetros para nuestra interpolación, escogeremos una de nuestras dos variables, la dirección del viento y en el kriging ordinario obtendremos a continuación el resultado (Figura 3-32).

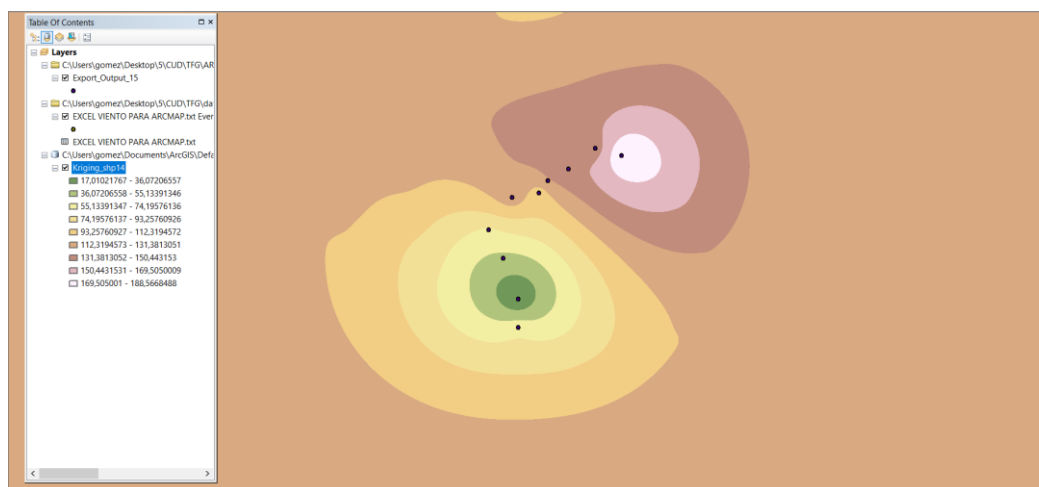


Figura 3-32 Interpolación de la dirección del viento (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido este resultado, podremos en *Propiedades de la capa* cambiar los colores a una escala de azules para que visualmente sea más fácil de interpretar. Sin embargo como debemos

exportar este archivo para poder analizarlo en *gvSIG*, realizaremos el cambio de la escala de colores posteriormente en *gvSIG*.

A continuación necesitamos exportar este archivo en formato *Shapefile*, para poder trabajar con él en nuestro programa *gvSIG* y para conseguir esto debemos hacer una reclasificación del archivo quedando de la siguiente forma (Figura 3-33), (Figura 3-34) y (Figura 3-35).

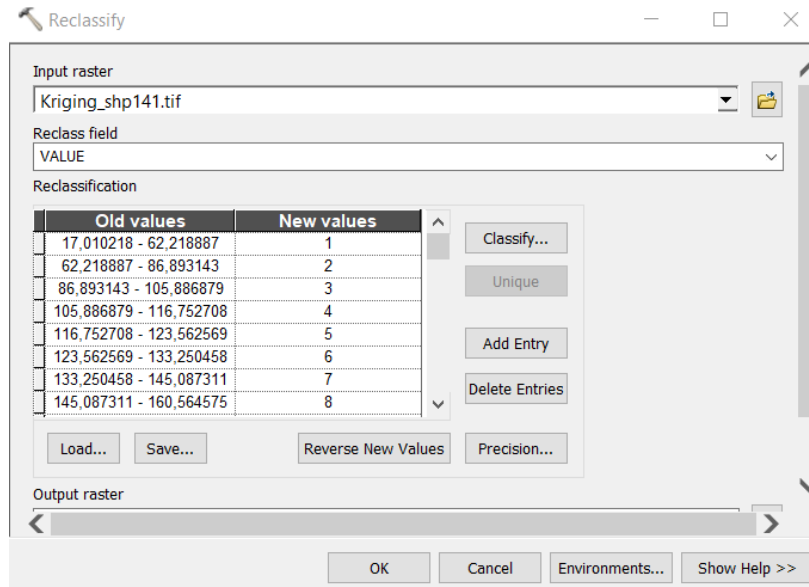


Figura 3-33 Reclasificación de la interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia)

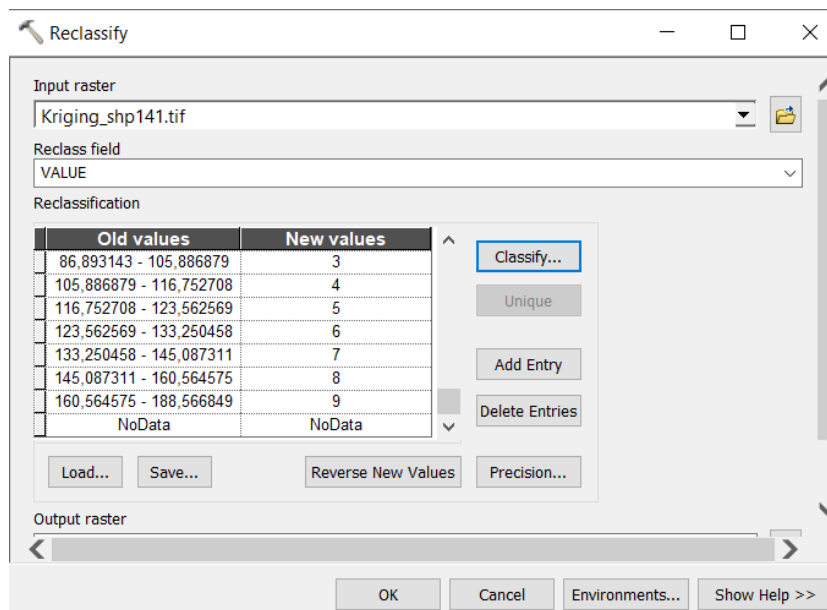


Figura 3-34 Reclasificación de la interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia)

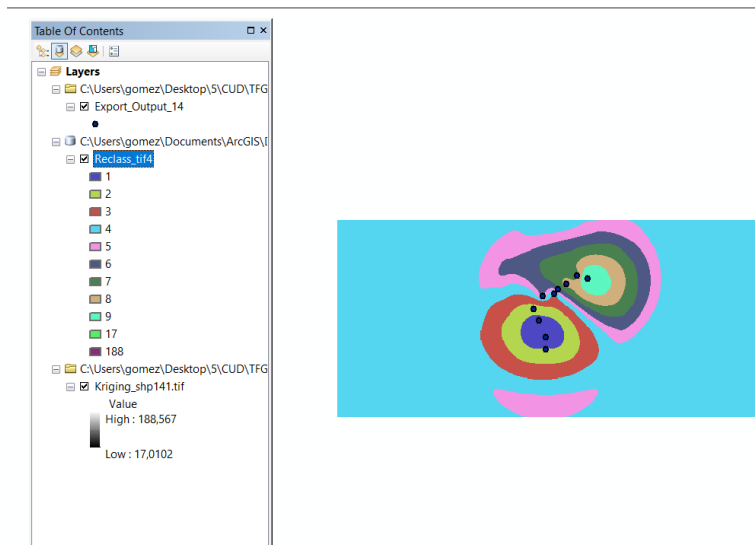


Figura 3-35 Reclasificación de la interpolación dirección del viento con kriging (Fuente propia)

El resultado final de la dirección del viento y los puntos SIMAR utilizados en la costa gallega se puede observar a continuación (Figura 3-36).

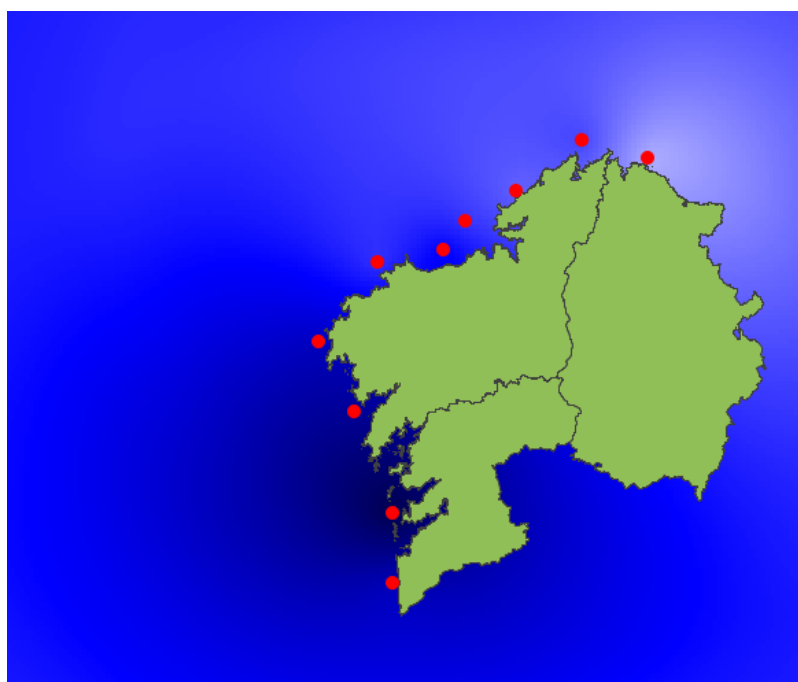


Figura 3-36 Dirección del viento en la costa gallega (Fuente propia)

Una vez hemos conseguido obtener un archivo en formato *Shapefile* en todos los puntos de la costa, ya podemos proceder a realizar un área de influencia en cualquier zona de la costa de Galicia y obtener los resultados de la variable para calcular el ICV. A continuación, se muestra la intersección de la dirección del viento con las 4 áreas de influencia creadas (Figura 3-37) (Figura 3-38) (Figura 3-39) (Figura 3-40):

- **Marín (Ría de Pontevedra):**

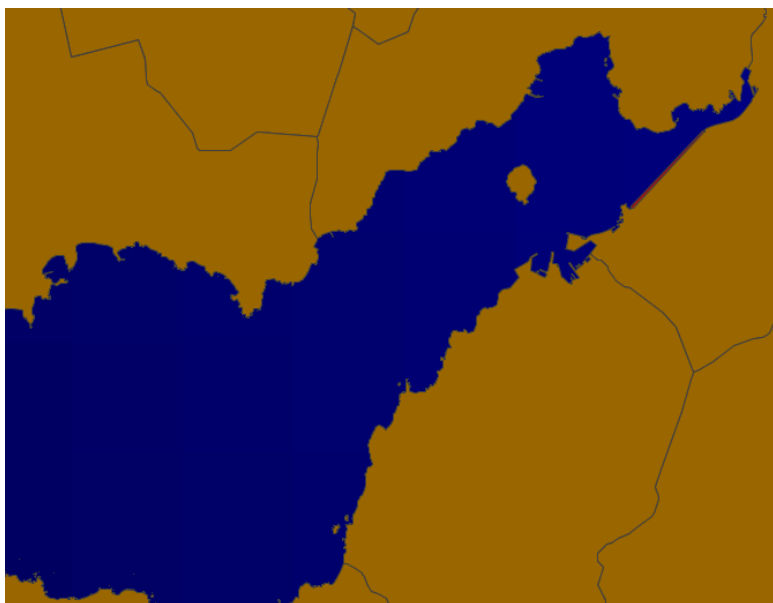


Figura 3-37 Intersección de la dirección del viento y el área de influencia. (Fuente propia)

- **Playa de Baldaio:**

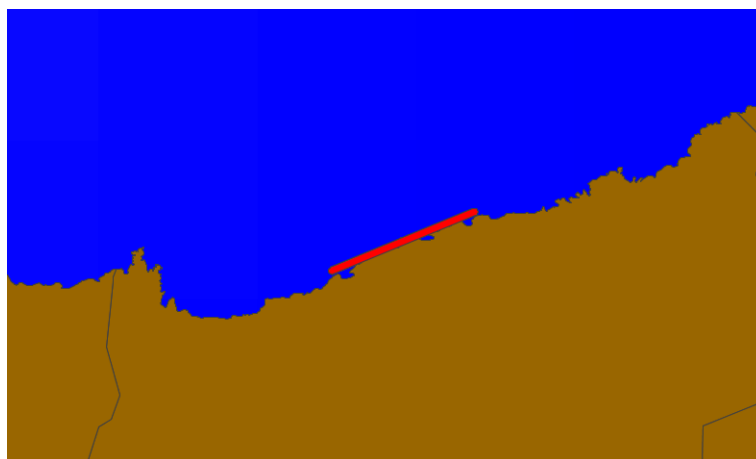


Figura 3-38 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)

- **Cabo Ortegal:**



Figura 3-39 Área de influencia en el Cabo Ortegal (Fuente propia)

- **Villanueva de Arosa:**



Figura 3-40 Área de influencia en Villanueva de Arosa (Fuente propia)

2. Velocidad del viento

A continuación realizamos el mismo procedimiento pero esta vez con la velocidad del viento, hasta conseguir la capa de velocidad del viento en toda la costa gallega (Figura 3-41).

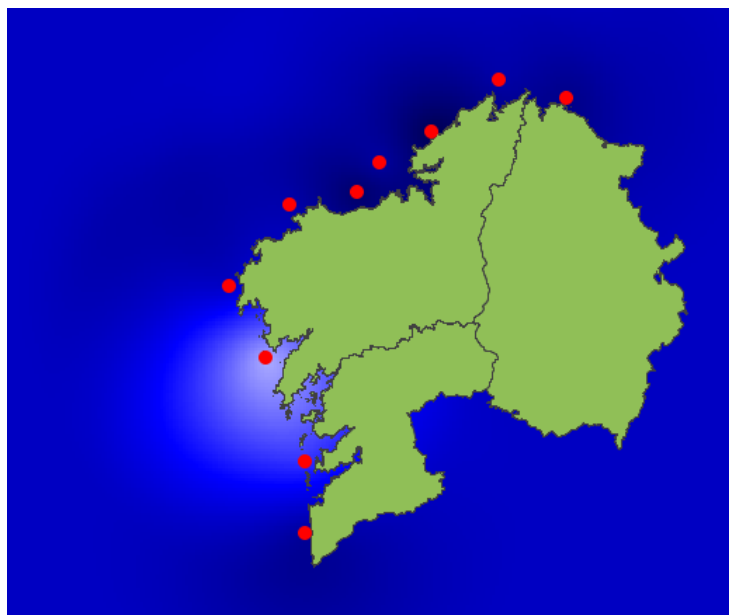


Figura 3-41 Velocidad del viento en la costa gallega (Fuente propia)

3.4.3 Corriente

El siguiente factor que vamos a tener en cuenta para el estudio de la vulnerabilidad de la costa va a ser la corriente. Escogemos los datos más recientes que nos ofrezca esta fuente de información.

En nuestro caso hemos descargado los datos de las únicas tres boyas que nos ofrecen información sobre la corriente en la costa gallega que son Cabo Silleiro, Estaca de Bares y Villano Sisagras (Figura 3-42).

Descargada la información correspondiente, entre los tres datos que nos ofrece, velocidad media de la corriente en cm/s, dirección de propagación de la corriente ($0=N, 90=E$) y canal de obtención de los datos, seleccionaremos únicamente los dos primeros ya que el último no es de relevancia para nuestro estudio.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nombre	Velocidad_me	Dir_de_prop.	UTMx	UTMy		
2	cabo_silleiro	27.4	343.0	464329.00	4663057.00		
3	estaca_de_ba	10.7	335.0	605501.00	4885912.00		
4	villano_sisagr	30.2	81.0	482897.00	4816236.00		
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Figura 3-42 Formato de Excel para representar en gvSIG (Fuente propia)

Una vez realizada la tabla Excel con los requisitos para poder visualizarla en el programa, insertamos la tabla en el programa mediante el “Gestor de proyecto”, y posteriormente en la vista añadimos mediante la herramienta “Añadir capa de eventos” la nueva tabla, que posteriormente exportamos a un formato .shp.

Obtenemos como resultado la localización geográfica de las boyas con toda su información en la tabla de atributos (Figura 3-43), y visualizando al mismo tiempo la capa “Concellos_con_mar”. Hemos cambiado el color de las boyas para identificarlas en rojo y mantenemos los concellos de Galicia en un color distinto.

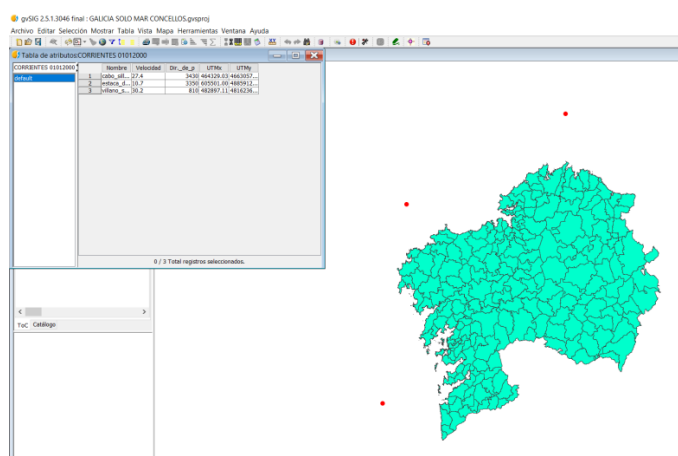


Figura 3-43 Boyas y su tabla de atributos en la costa de Galicia (Fuente propia)

A continuación vamos a realizar el mismo proceso que hemos hecho con las tablas Excel y su exportación a formato .shp en el programa ArcMap.

1. Velocidad de la corriente

A continuación realizamos el mismo procedimiento que hemos llevado a cabo anteriormente pero esta vez con la velocidad de la corriente, hasta conseguir la capa de velocidad de la corriente y su información en toda la costa gallega (Figura 3-44).

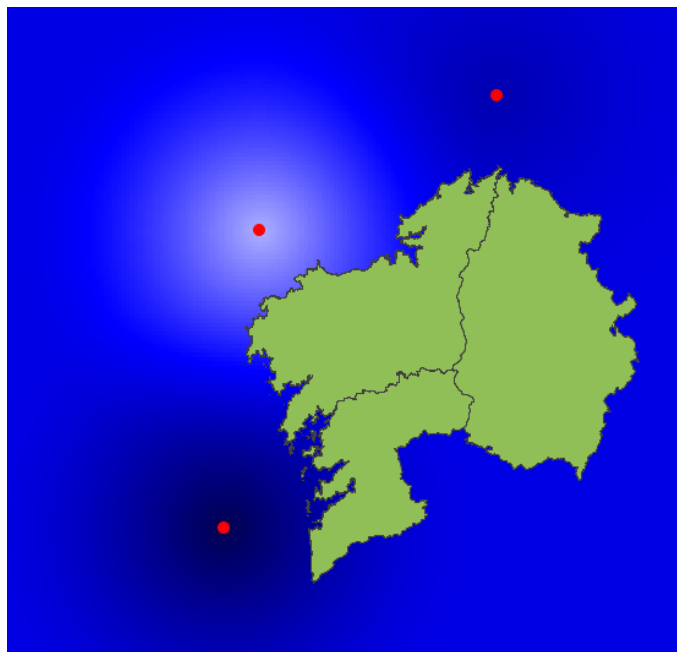


Figura 3-44 Velocidad de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)

2. Dirección de la corriente

A continuación realizamos el mismo procedimiento que hemos llevado a cabo anteriormente pero esta vez con la dirección de la corriente, hasta conseguir la capa de dirección de la corriente y su información en toda la costa gallega (Figura 3-45).

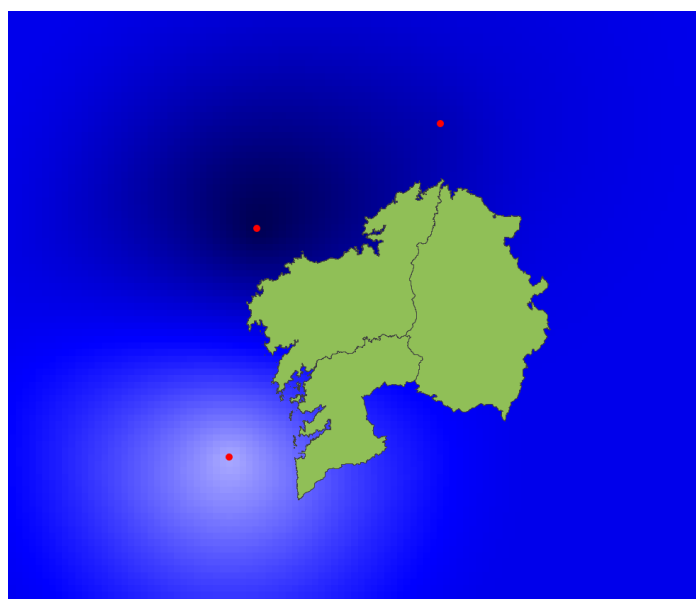


Figura 3-45 Dirección de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)

3.4.4 Oleaje

El siguiente factor que vamos a tener en cuenta será el oleaje, ya que es un factor clave en la vulnerabilidad de la costa gallega. Debido a que existen zonas de altas presiones y de bajas presiones, se producen desplazamientos de aire, denominados vientos. Estos vientos a su vez provocan el oleaje que dependerá por tanto de la intensidad del viento.

Nosotros acudiríamos para ello, como en el caso anterior, a la página web Puertos del Estado donde las boyas disponibles nos proporcionan los datos necesarios para realizar el estudio. Sin embargo, en este caso acudiríamos a *Meteogalicia* ya que es la encargada de realizar un *Atlas de Oleaje de Alta Resolución* del oleaje en la costa gallega. Para realizar este trabajo *Meteogalicia* ha acudido a una fuente de datos históricos, al igual que hicimos nosotros para realizar las corrientes, acudiendo también a Puertos del Estado.

Puertos del Estado proporciona una serie de mediciones in-situ y datos SIMAR. SIMAR-44 proporciona datos de oleaje entre 1958 y 1999 cada 3 horas en los siguientes puntos (Figura 3-46).



Figura 3-46 Distribución de los nodos SIMAR [62]

A partir de todos los datos proporcionados por los puntos SIMAR-44 se realiza una propagación de todos los estados de la mar hasta la costa, utilizando una malla de cálculo de alta resolución.

Los datos que nos proporciona toda esta información son la alturas de ola (régimen medio), alturas de ola extremal, potencia y energía del oleaje.

Finalmente implementaron el modelo SWAN que permite el uso de mallas no estructuradas, es decir, permite que la resolución de esta malla sea variable. La resolución en el interior de las rías es mayor, cercana a los 75 metros y también tienen mayor resolución las zonas poco profundas. *Meteogalicia* ha escogido para representar el oleaje 25 puntos, de los cuales 11 pertenecen a Puertos del Estado del conjunto SIMAR-44, que son aguas profundas para caracterizar el oleaje exterior. Los 14 puntos restantes se encuentran más próximos a la costa, con profundidades en torno a 40 metros. Se muestran a continuación los 25 puntos utilizados (Figura 3-47) [70]:

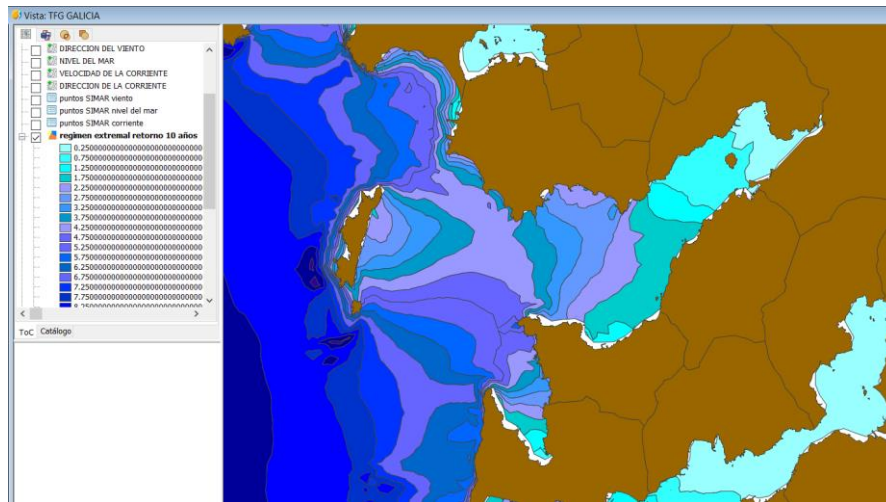


Figura 3-49 Régimen extremal del oleaje en la Ría de Pontevedra (Fuente propia)

3.4.5 Nivel del mar

Procedemos a analizar el último parámetro que tendremos en cuenta para el estudio de la vulnerabilidad de la costa gallega. Para ello hemos seleccionado los 8 puntos SIMAR disponibles en Puertos del Estado que nos proporcionan este tipo de información (Figura 3-50) y hemos procedido a su descarga y elaboración de un Excel.

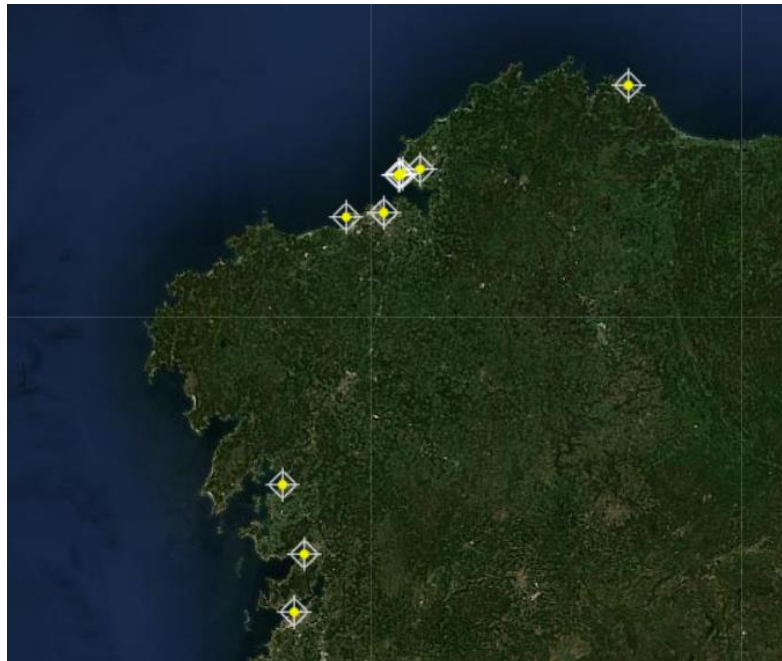


Figura 3-50 Puntos SIMAR seleccionados [62]

La información que nos proporcionan estos puntos SIMAR, a parte de la fecha de recogida de cada dato, son el nivel mínimo, el nivel medio y el nivel máximo, únicamente utilizaremos este último dato, el nivel máximo, ya que es el dato más restrictivo a la hora de estudiar la vulnerabilidad. El resultado del Excel se muestra a continuación (Figura 3-51).

	A	B	C	D	E
1	NOMBRE	NIVEL_DEL_MAR	UTMX	UTMY	
2	A_CORUÑA	485,00	549305,00	4800846,00	
3	FERROL_2	432,00	560530,00	4814266,00	
4	FERROL_3	428,00	554078,00	4811990,00	
5	LANGOSTEIRA	440,00	537967,00	4799662,00	
6	MARIN	420,00	525383,00	4695214,00	
7	SAN_CIBRAO	441,00	623954,00	4840679,00	
8	VIGO	415,00	522152,00	4676326,00	
9	VILLAGARCIA	439,00	518743,00	4716292,00	
10					
11					

Figura 3-51 Transformación de Excel para representación SIG (Fuente propia)

A continuación realizamos el mismo procedimiento que anteriormente hasta conseguir la capa de nivel del mar y su información a lo largo de toda la costa gallega (Figura 3-52).

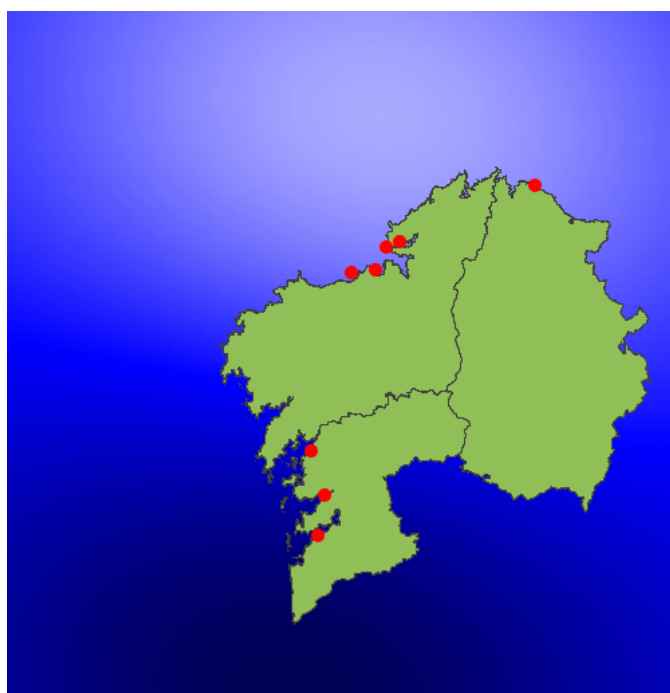


Figura 3-52 Nivel del mar en la costa gallega (Fuente propia)

3.4.1 Pendiente de la costa

Debido a que hemos observado que la batimetría no nos aporta una precisión de la información lo suficientemente precisa para poder clasificar según esta variable las diferentes zonas de la costa gallega según su vulnerabilidad. Tratamos de conseguir datos al otro lado de la línea costera, en este caso hemos escogido la variable que más influye, la pendiente de la costa. Para ello hemos seleccionado todas las hojas MTN50 que contienen la costa de Galicia (Figura 3-53).

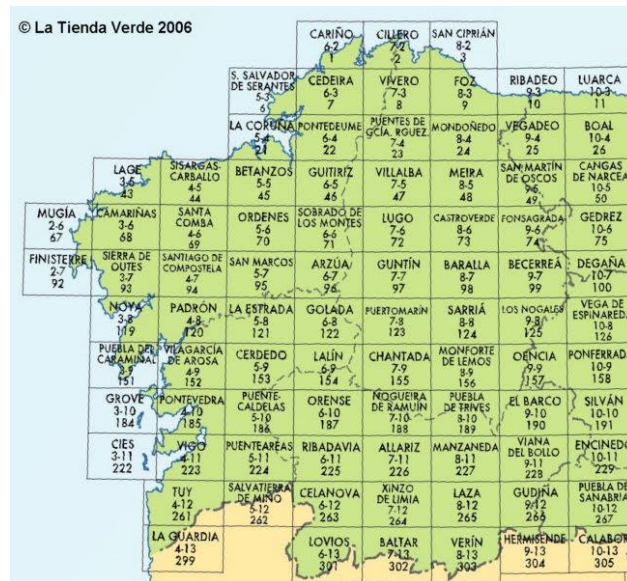


Figura 3-53 Hojas MNTN50 en Galicia [76]

Una vez sabemos las que queremos, procedemos a descargar del Instituto Geográfico Nacional estas hojas del Modelo Digital de Pendientes (Figura 3-54), la cual nos va a proporcionar la información de las pendientes de toda la superficie terrestre seleccionada.



Figura 3-54 Modelo seleccionado para el estudio de las pendientes [63]

Una vez las tenemos, introducimos todas las hojas seleccionadas en ArcMap, y procedemos a reclasificarlas para poder exportarlas en archivo shapefile y trabajar con ellas en *gvSIG*, sin embargo, debido a su peso y que tanto ArcMap como *gvSIG* no son capaces de aguantar este peso, únicamente lo haremos con la hoja que contenga los mayores valores, para realizar la escala de vulnerabilidades, y las hojas que contenga nuestras 4 áreas de influencia (Figura 3-55).

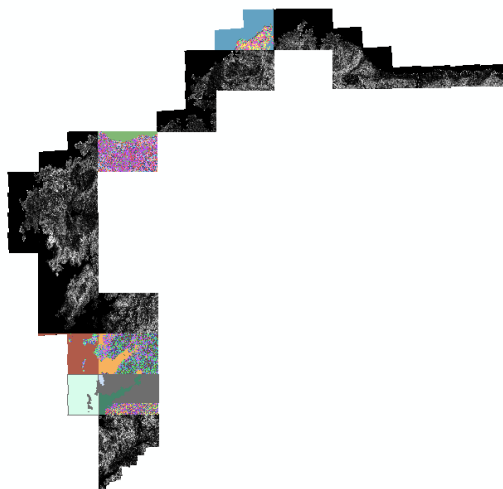


Figura 3-55 Hojas MTN50 en la costa gallega (Fuente propia)

Realizada la reclasificación, introducimos la hoja que contiene la zona donde vamos a realizar el estudio en *gvSIG* e intersecamos esta capa con el área de influencia de interés para saber el grado de pendiente en esta zona.

A continuación realizamos el mismo procedimiento que hemos hecho con anterioridad hasta conseguir la capa de pendiente en todas las zonas de la costa gallega y su información. A continuación solo se muestra la hoja que contiene la Ría de Pontevedra (Figura 3-56).

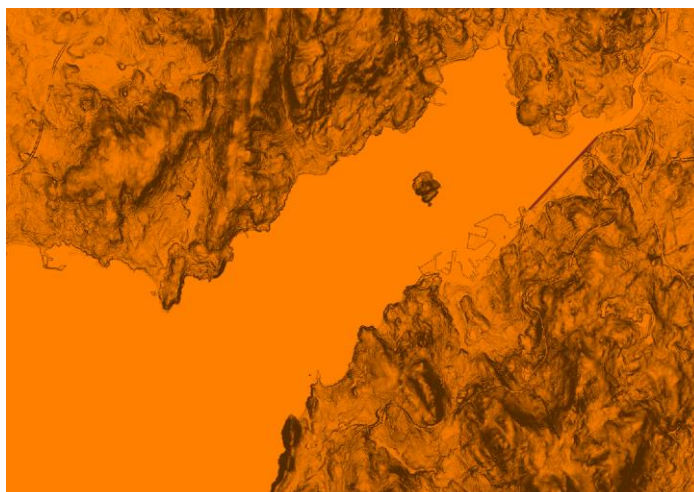


Figura 3-56 Capa pendientes, hoja de Pontevedra 4-10 185 (Fuente propia)

3.5 Selección del área de influencia

Debemos seleccionar en que zona vamos a calcular el ICV y hacer un área o zona de influencia sobre esta. Hemos decidido calcular cuatro áreas de influencia, cada una de ellas con diferentes características. El primer ICV en la Rías Bajas, en concreto en una zona dentro de la Ría de Pontevedra, entre la villa de Marín y la ciudad de Pontevedra, por donde pasa cercana una carretera que comunica ambas localidades. En segundo lugar, hemos seleccionado la Playa de Baldaio, fuera de cualquier ría y con escasa pendiente, sin protección de ningún tipo ante la acción de las variables a estudiar. En tercer lugar, hemos seleccionado un área de influencia en el Cabo Ortegal, formado por unos acantilados, con unas características completamente distintas a las dos anteriores. Y en último lugar hemos seleccionado

parte de la localidad de Villanueva de Arosa que tiene costa, en este caso hemos seleccionado una zona poblada y con viviendas cercanas en primera línea.

Para ello hemos creado una nueva capa Shape, la cual hemos podido editar y crear una línea en aquella zona que más nos interesaba. Antes de realizar la línea hemos añadido la capa de Galicia para así determinar la zona y posteriormente hemos creado la línea de forma superpuesta.

Una vez realizado este paso, procedemos a seleccionar dentro de la caja de herramientas de la que disponemos, la opción “Áreas de influencia [buffers]”, este nos ofrecerá distintos tipos de áreas de influencia, en nuestro caso escogemos el área de influencia de distancia fija. Se desplegará una pestaña (Figura 3-57) que nos permite seleccionar nuestra línea conocida como centro del área de influencia, que sea un único anillo hacia fuera, y la distancia en metros, en nuestro caso nos interesa una distancia de 20 metros. Cuando terminemos esto degradaremos el color del área de influencia para que nos permita ver la capa que se encuentra debajo y así de forma visual saber cual es el área que el usuario esta ocupando.

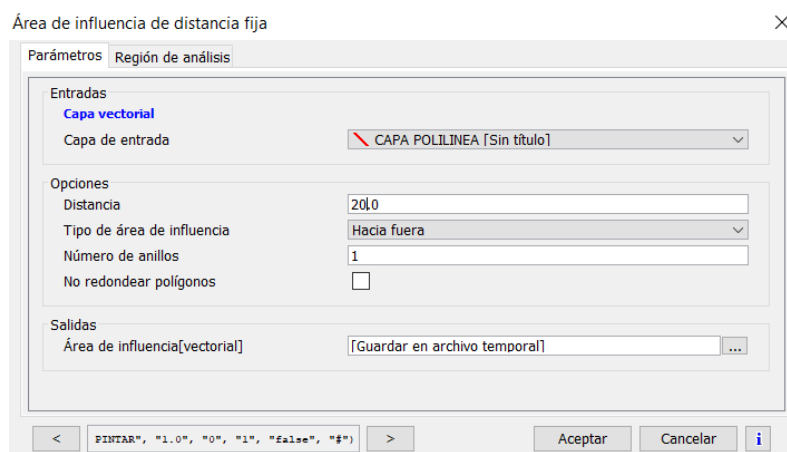


Figura 3-57 Selección de parámetros en el área de influencia (Fuente propia)

A continuación, se muestran las cuatro áreas de influencia seleccionadas (Figura 3-58) (Figura 3-59) (Figura 3-60) (Figura 3-61) (Figura 3-62) (Figura 3-63) (Figura 3-64) (Figura 3-65) (Figura 3-66).



Figura 3-58 Áreas de influencia seleccionadas (Fuente propia)

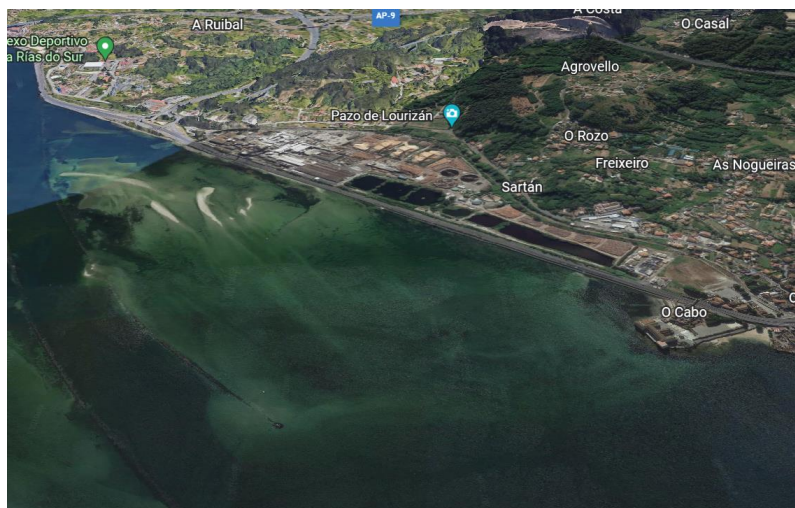


Figura 3-59 Marín (Ría de Pontevedra) [72]

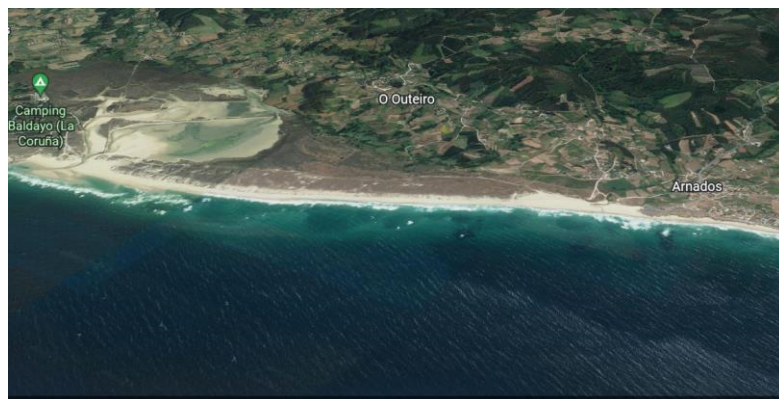


Figura 3-60 Playa de Baldaio [72]



Figura 3-61 Cabo Ortegal [72]



Figura 3-62 Villanueva de Arosa [72]



Figura 3-63 Área de influencia en la Ría de Pontevedra (Fuente propia)

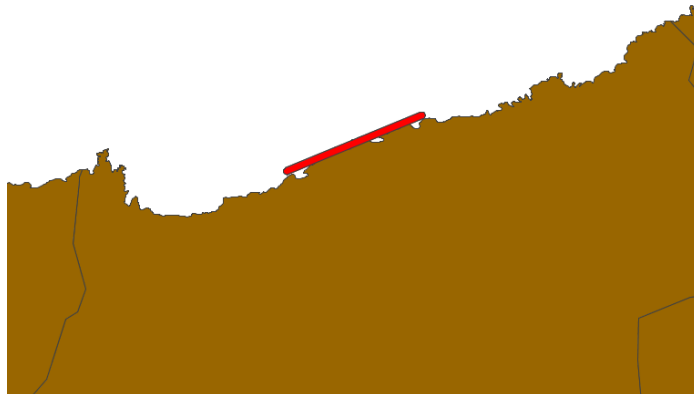


Figura 3-64 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)

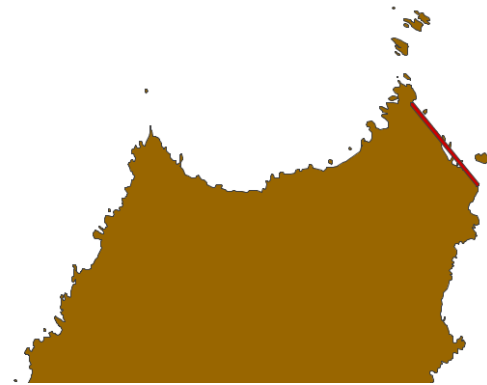


Figura 3-65 Área de influencia en el Cabo Ortegal (Fuente propia)



Figura 3-66 Área de influencia en Villanueva de Arosa (Fuente propia)

4 RESULTADOS

Una vez hemos explicado y desarrollado en los apartados anteriores el proceso de selección de los parámetros a analizar que afectan a la vulnerabilidad de la costa, la obtención de todos los datos necesarios en diferentes formatos y la creación a partir de ellos de las capas temáticas correspondientes a cada una de las variables y finalmente el proceso de tratar con diferentes herramientas de geoprocésamiento estas capas para la obtención de un resultado.

En este apartado procedemos a exponer los resultados obtenidos de las diferentes capas que conformarán la base de datos con esa información oceanográfica que nos sirve a nosotros para la evaluación de la costa gallega, pero que puede servir a cualquier otro usuario para realizar cualquier otro tipo de estudio en la mar o en la costa de Galicia.

Contamos con diferentes capas temáticas, siendo estas, la pendiente de la costa, el nivel del mar, el oleaje, el viento y la corriente.

Se han tenido en cuenta aquellos factores o parámetros que afectan a nuestra zona de estudio, y descartado todos aquellos que son insignificantes o que en nuestra zona de estudio no varían el resultado final debido a su poco poder de afectar a las costas.

La problemática de nuestra zona, la costa gallega, es que se trata de una zona demasiado extensa, dentro de la cual los valores varían de un lugar a otro, por lo que se ha tenido que llevar a cabo el estudio por zonas o áreas de influencia.

4.1 Variables oceanográficas

4.1.1 Corriente

La corriente implica la llegada del factor determinante, que es el agua de los océanos, a nuestras costas de diferente forma para ello debemos tener en cuenta tanto la velocidad media de la corriente como la dirección de propagación.

Para ello los datos a los cuales recurrimos son los proporcionados por las boyas (puntos SIMAR) de Puertos del Estado (Figura 4-1), y su transformación en capas Shapefile y posteriormente la interpolación de los datos de las boyas para obtener información lo más exacta posible en todos los puntos de la costa gallega.

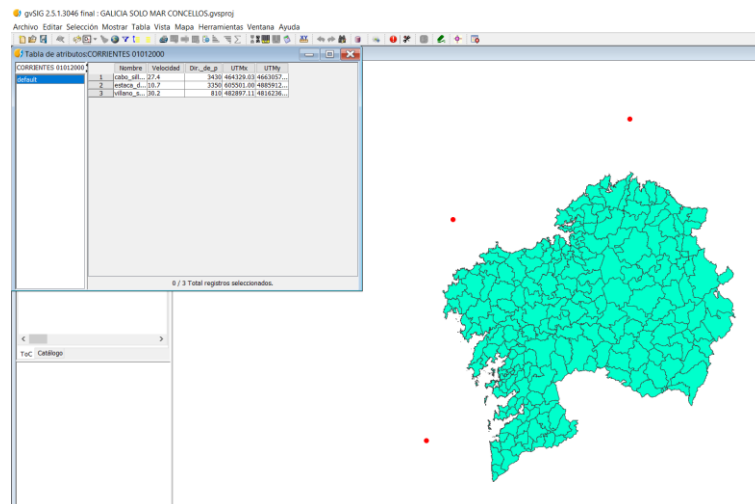


Figura 4-1 Boyas y su tabla de atributos en la costa de Galicia (Fuente propia)

A continuación, se exponen ambas variables de la corriente, velocidad y dirección.

1. Velocidad de la corriente

Partimos de la capa de la velocidad de la corriente, como se muestra a continuación (Figura 4-2).

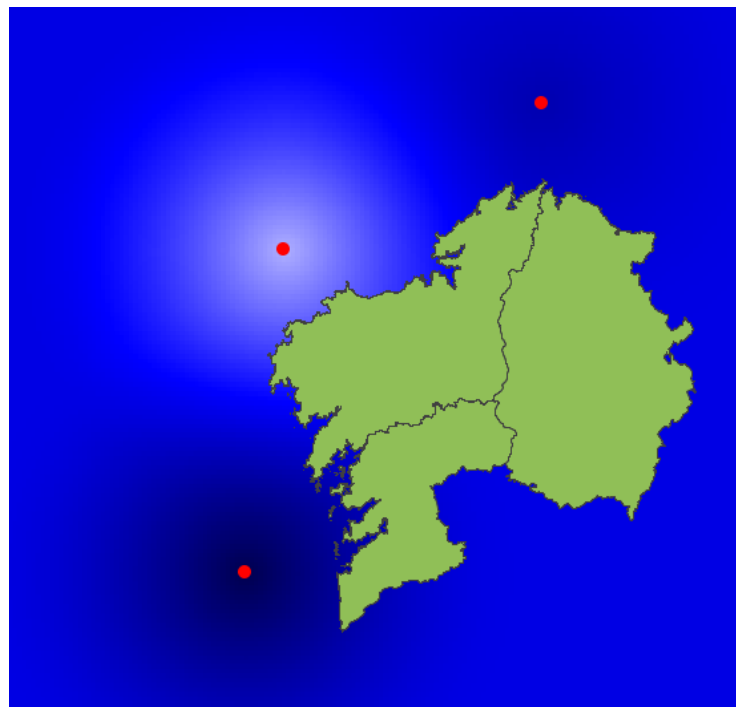


Figura 4-2 Velocidad de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido la capa con la velocidad de la corriente a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-3) (Figura 4-4) (Figura 4-5).

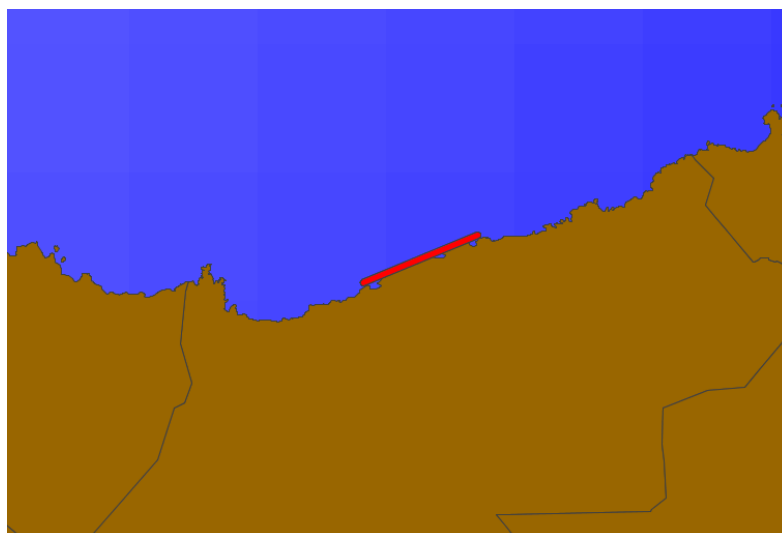


Figura 4-3 Área de influencia en la Playa de Baldaio (Fuente propia)

Tabla de atributos: velocidad de la corriente en la playa de Baldaio				
	ID	DIST	Id_0	gridcode
1		50,0000...	6	9

Figura 4-4 Tabla de atributos de la velocidad de la corriente en el área de influencia (Fuente propia)

Estos resultados corresponden a un grado de vulnerabilidad muy alto.

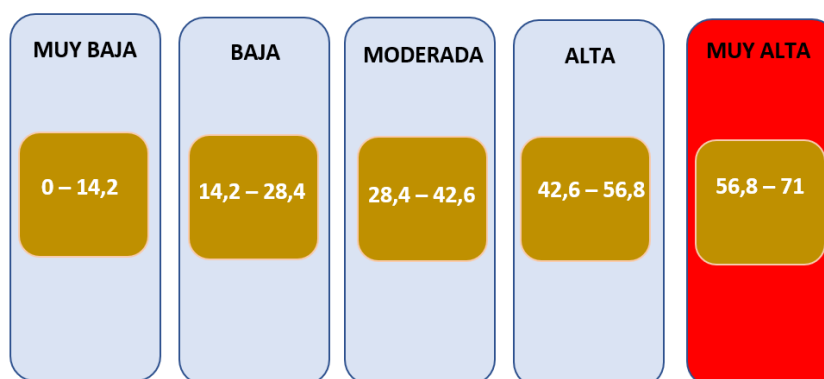


Figura 4-5 Escala clasificación velocidad de la corriente en la playa de Baldaio (Fuente propia)

2. Dirección de la corriente

Partimos de la capa de dirección de la corriente, como se muestra a continuación (Figura 4-6).

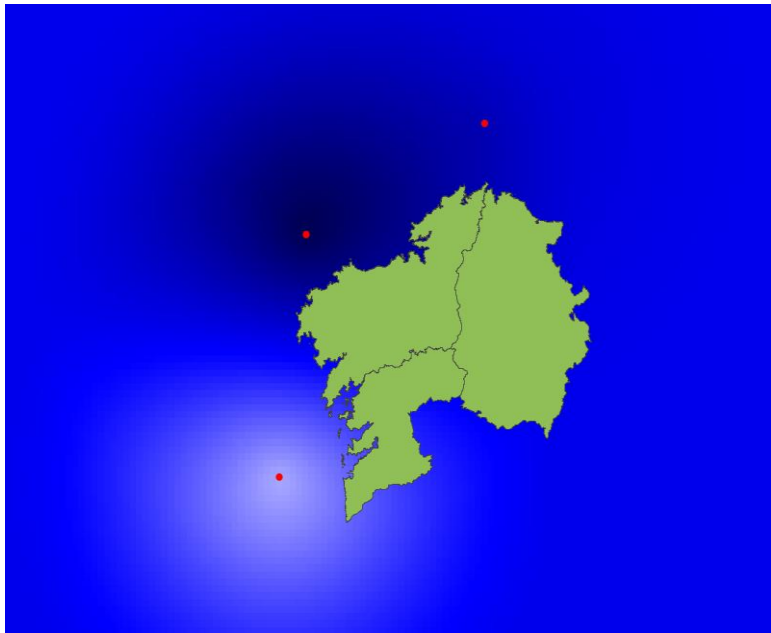


Figura 4-6 Dirección de la corriente en la costa gallega (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido la capa con la dirección de la corriente a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-7) (Figura 4-8) (Figura 4-9).

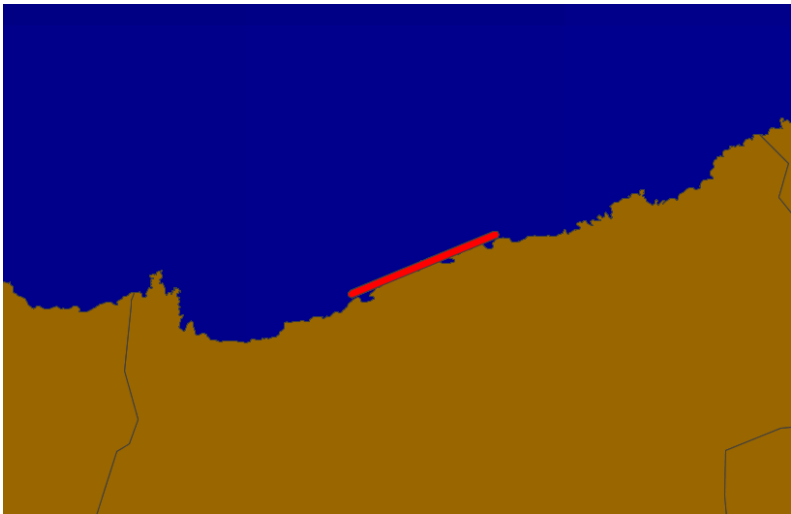


Figura 4-7 Intersección área de influencia con la dirección de la corriente en la playa de Baldaio (Fuente propia)

Tabla de atributos: direccion de la corriente en la playa de Baldaios				
	Id	gridcode	ID_0	DIST
1		2	1	50,0000...

Figura 4-8 Tabla de atributos dirección de la corriente en el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)

Los valores corrersponden a un nivel alto de vulnerabilidad.

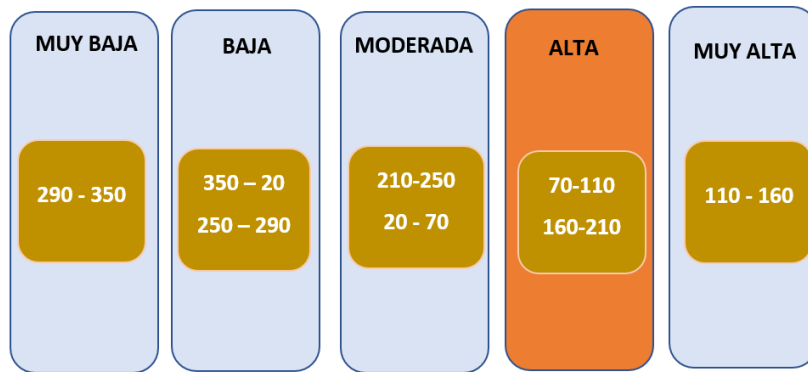


Figura 4-9 Escala clasificación dirección de la corriente (Fuente propia)

4.1.2 Oleaje

Este es un factor muy importante que tendrá relevancia en la vulnerabilidad de la costa. Los datos hemos podido obtenerlos de Meteogalicia, la cual acude a la misma fuente de información que nosotros, es decir, Puertos del Estado y obtiene la información de las boyas (puntos SIMAR) al igual que nosotros, pero en este caso nos proporciona ya una malla a partir de estas boyas obteniendo la información en todos los puntos de la costa, pero de forma mucho más exacta, incidiendo en aquellas zonas donde la profundidad es menor, como por ejemplo en las rías.

En este caso tendremos en cuenta el régimen extremal del oleaje para valorar el impacto de este parámetro sobre la costa (Figura 4-10) (Figura 4-11).

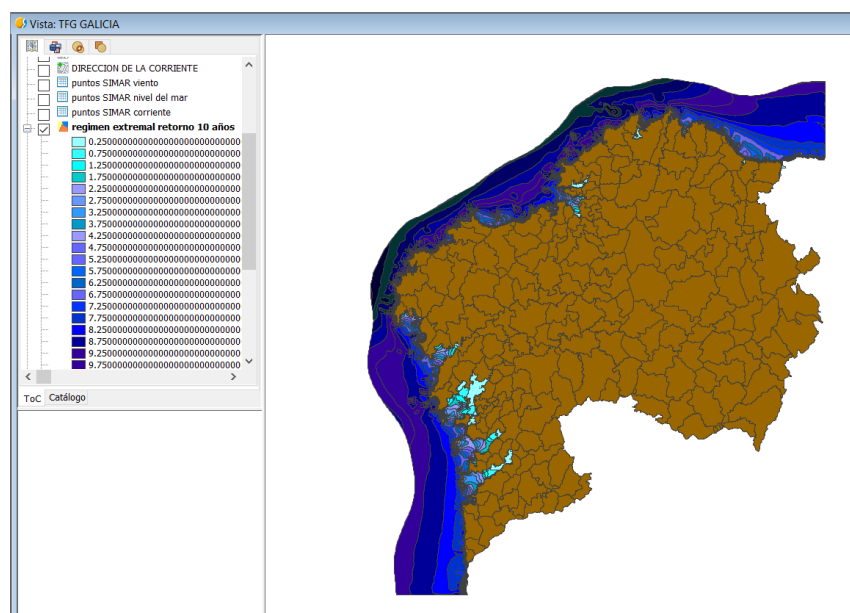


Figura 4-10 Oleaje en la costa gallega (Fuente propia)

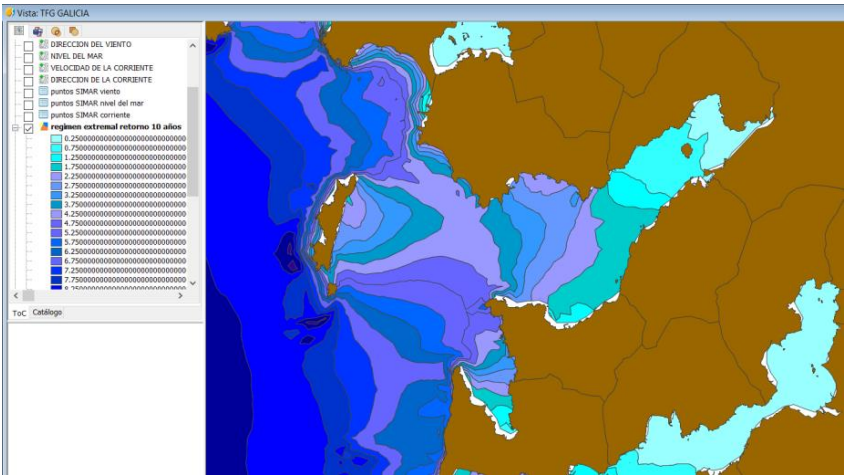


Figura 4-11 Oleaje en la Ría de Pontevedra (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido la capa con el oleaje a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad. (Figura 4-12) (Figura 4-13) (Figura 4-14).

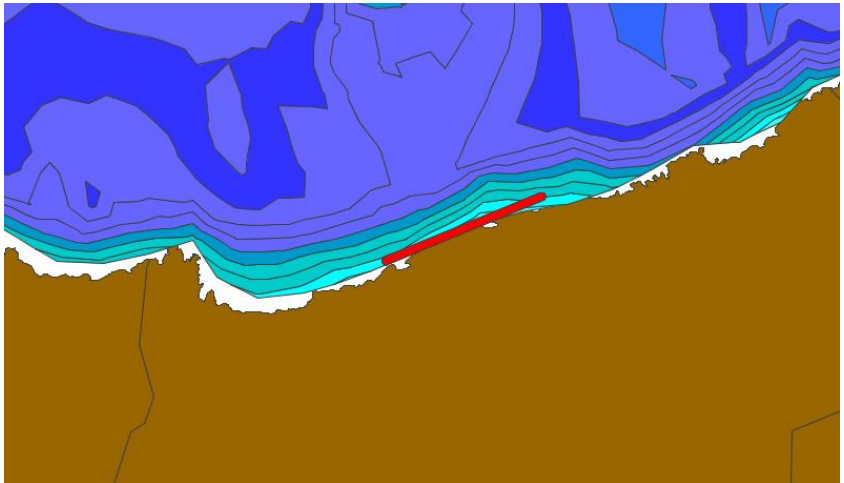


Figura 4-12 Intersección del oleaje con el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)

Tabla de atributos: Oleaje en la playa de Baldaio

	contourId	ID	DIST
1	1.25000	1	50,0000...
2	1.75000	1	50,0000...
3	2.25000	1	50,0000...
4	2.75000	1	50,0000...

Figura 4-13 Tabla de atributos del oleaje en la zona de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)

Por lo tanto el resultado alcanza un valor que corresponde a un nivel de vulnerabilidad bajo.

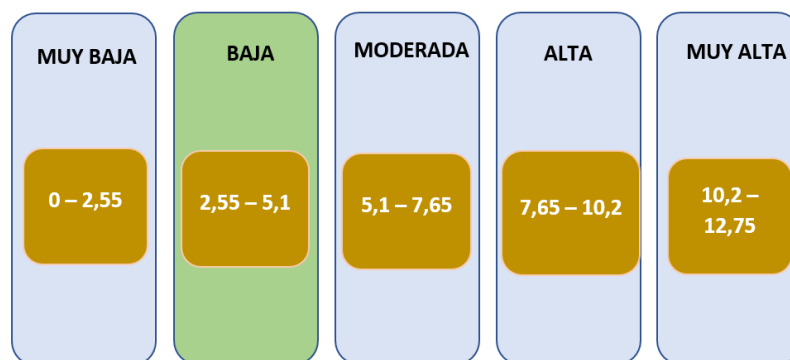


Figura 4-14 Escala clasificación oleaje (Fuente propia)

4.1.3 Viento

Al igual que ocurre con la corriente, el viento será un factor clave que puede erosionar parte de la costa gallega y llevar hacia ella con mayor o menos fuerza el agua de los océanos.

Tendremos que seleccionar boyas (puntos SIMAR) distribuidas de forma homogénea a lo largo de la costa gallega y realizar la interpolación para obtener datos en todos los puntos de la costa (Figura 4-15)

En esta variable hemos seleccionado los parámetros de estudio la velocidad del viento y la dirección del viento.

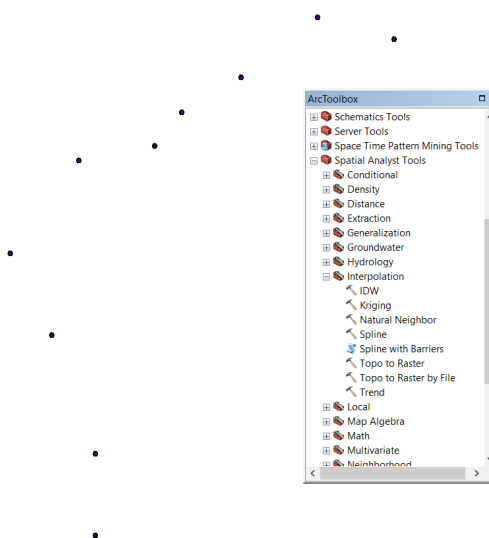


Figura 4-15 representación de los puntos SIMAR (Fuente propia)

1. Dirección del viento

Partimos de la capa de dirección del viento en toda la costa gallega, como se muestra a continuación (Figura 4-16).

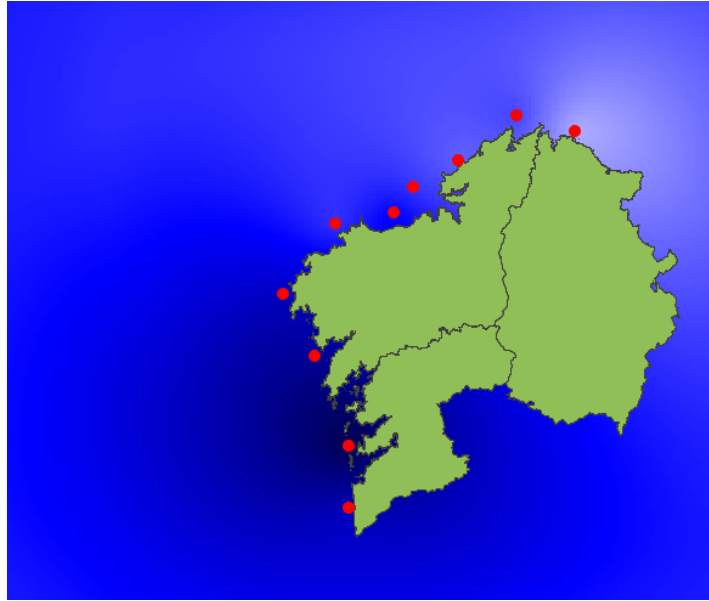


Figura 4-16 Dirección del viento en la costa gallega (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido la capa con la dirección del viento a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-17) (Figura 4-18) (Figura 4-19).

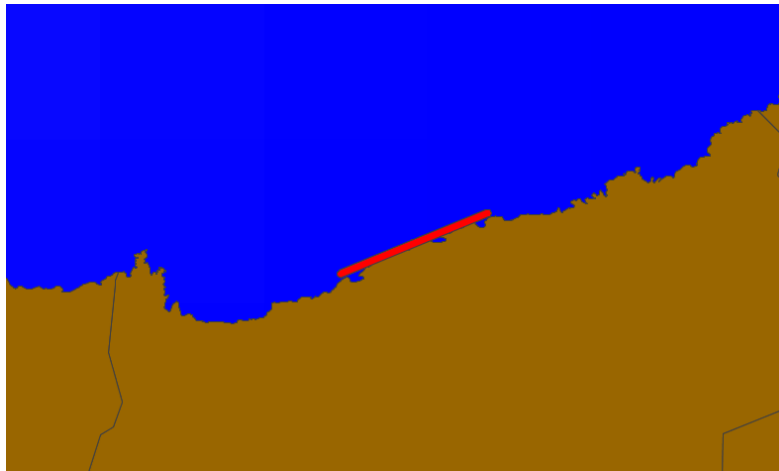


Figura 4-17 Intersección del área de influencia con la capa de dirección del viento en la playa de Baldaio (Fuente propia)

	Id	gridcode	ID_0	DIST
1		3	1	50,0000...

Figura 4-18 Tabla de atributos de la dirección del viento en el área de influencia en la playa de Baldaio (Fuente propia)

Los valores corresponden a un nivel muy alto de vulnerabilidad.

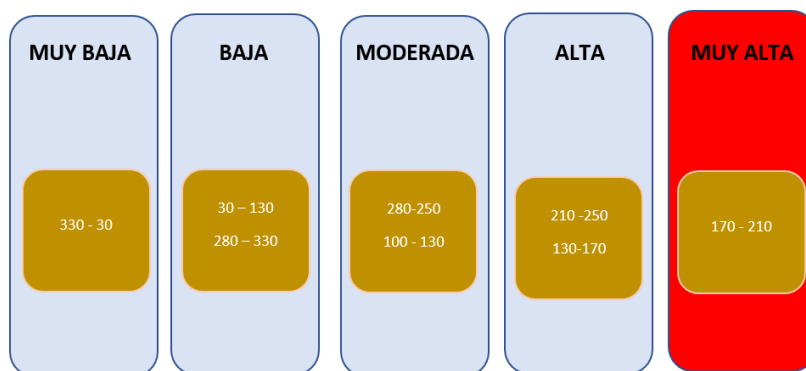


Figura 4-19: Escala clasificación dirección del viento (Fuente propia)

2. Velocidad del viento

Partimos de la capa de la velocidad del viento en toda la costa gallega, la cual se muestra a continuación (Figura 4-20).

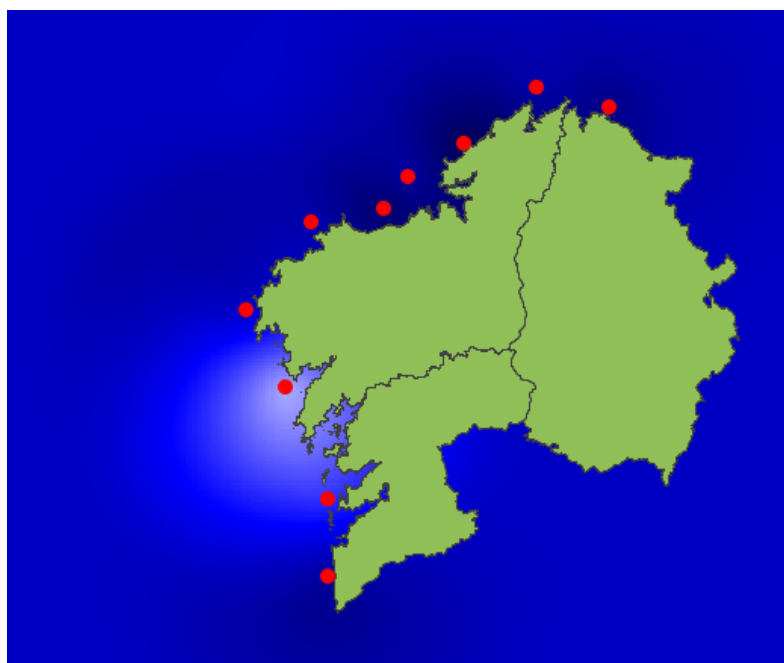


Figura 4-20 Velocidad del viento en la costa gallega (Fuente propia)

Una vez hemos obtenido la capa con la velocidad del viento a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-21) (Figura 4-22) (Figura 4-23).

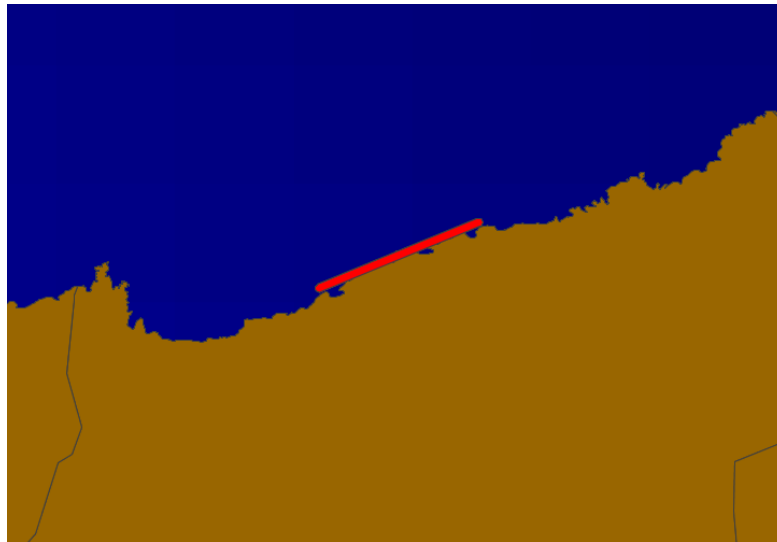


Figura 4-21 Intersección del área de influencia con la capa de velocidad del viento (Fuente propia)

Tabla de atributos: velocidad del viento en la playa de Baldaio

	Id	gridcode	ID_0	DIST
1		2	1	50,0000...

Figura 4-22 Tabla de atributos de la velocidad del viento en el área de influencia (Fuente propia)

Los valores corresponden a un nivel bajo de vulnerabilidad.

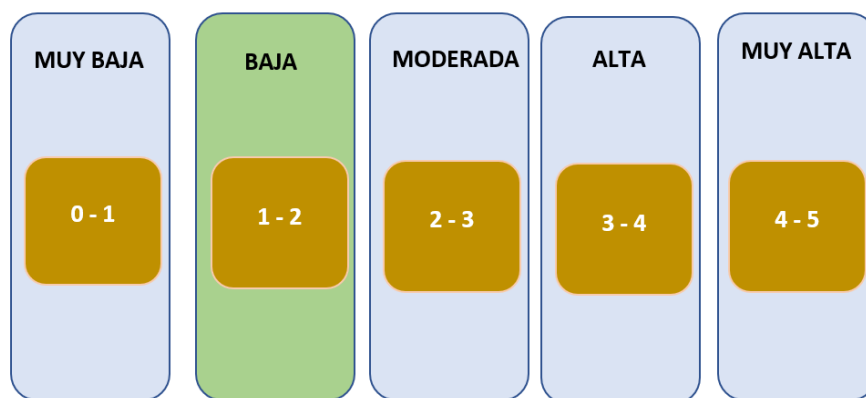


Figura 4-23 Escala clasificación velocidad del viento (Fuente propia)

4.1.4 Nivel del mar

En cuanto al nivel del mar hemos seleccionado todos los puntos SIMAR disponibles, y hemos realizado la interpolación mediante kriging con los últimos datos disponibles.

Es sin duda el factor más determinante, debido al aumento progresivo del nivel del mar por el deshielo de los casquetes polares, supone el retroceso continuo de la línea costera u dependiendo de otros factores esto será con mayor o menor velocidad. Una vez conocemos su información a lo largo de toda la costa (Figura 4-24) pasamos a calcular sus valores en el área de influencia.

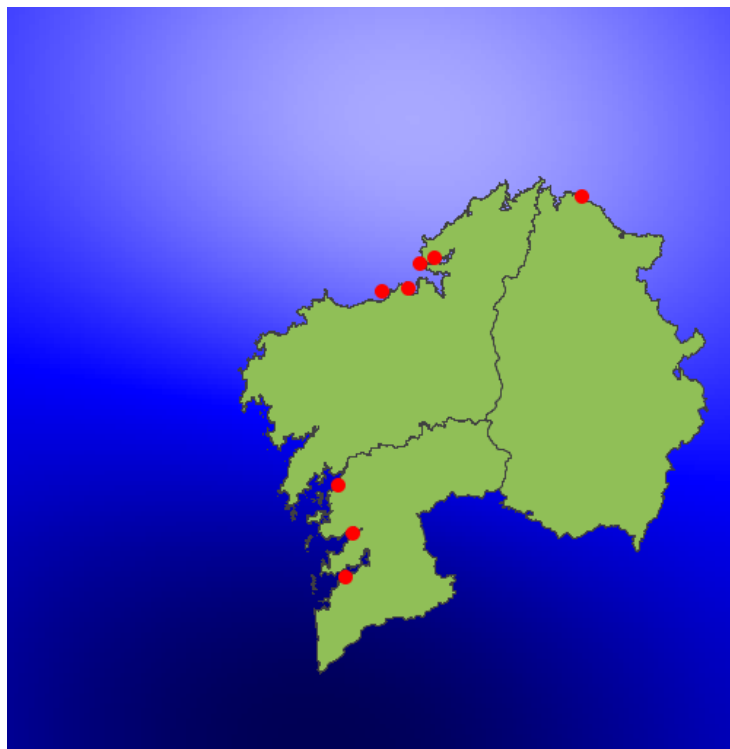


Figura 4-24 Nivel del mar en la costa gallega (Fuente propia)

Obtenida la capa con el nivel del mar a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-25) (Figura 4-26) (Figura 4-27).

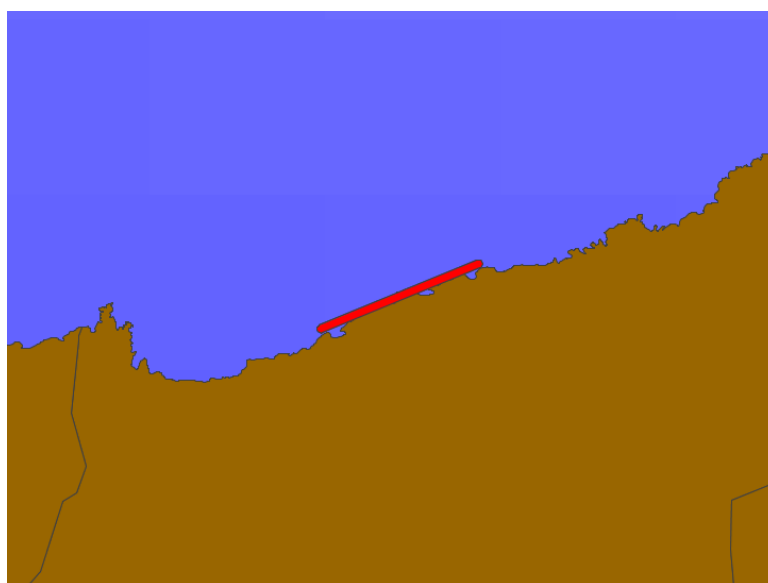


Figura 4-25 Intersección del nivel del mar con el área de influencia (Fuente propia)

Tabla de atributos: nivel del mar en la playa de Baldaio

	Id	gridcode	ID_0	DIST
1		8	1	50,0000...

Figura 4-26 Tabla de atributos del nivel del mar en el área de influencia (Fuente propia)

El resultado obtenido corresponde a un nivel moderado de vulnerabilidad.

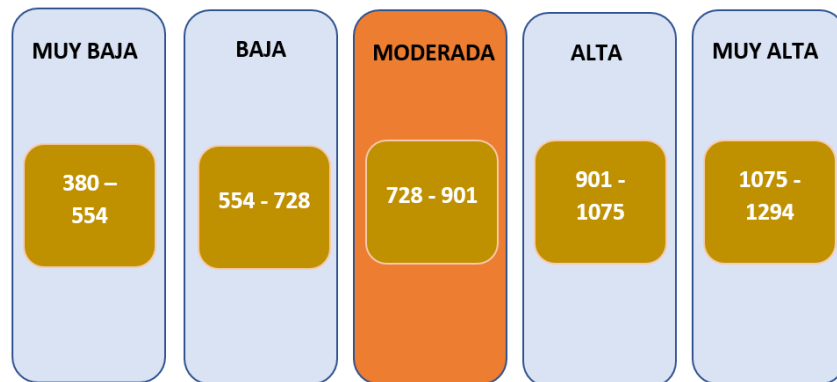


Figura 4-27 Escala clasificación nivel del mar (Fuente propia)

4.1.5 Pendiente de la costa

En lugar de seleccionar la batimetría hemos seleccionado la pendiente de la costa ya que depende de esta que con el aumento del nivel del mar se produzca un mayor o menor retroceso de la línea costera, por lo tanto, es uno de los factores más importantes para tener en cuenta.

Una vez hemos obtenido la capa con la pendiente de la costa a lo largo de toda la costa gallega intersecaremos esta capa con el área de influencia en la Playa de Baldaio. A continuación se muestra la intersección con el área de influencia, la tabla de atributos con los resultados y su clasificación según su nivel de vulnerabilidad (Figura 4-28) (Figura 4-29) (Figura 4-30).

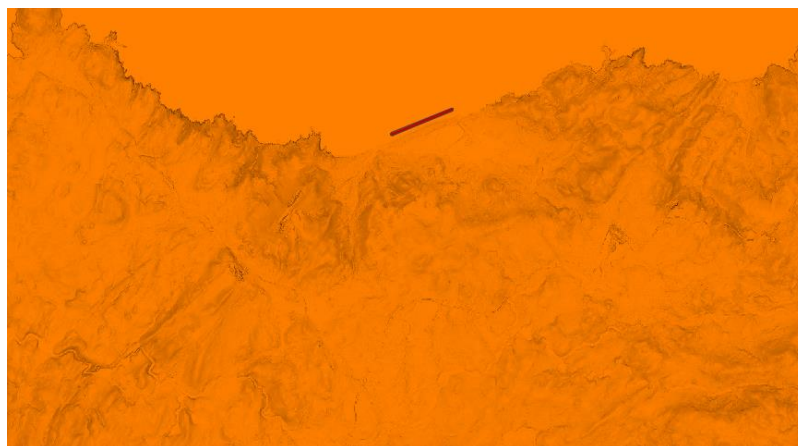


Figura 4-28 Intersección de la capa de pendientes con el área de influencia (Fuente propia)

	ID	DIST	Id_0	gridcode
1		50,0000...	243.107	1

Figura 4-29 Tabla de atributos de la capa de pendiente en el área de influencia (Fuente propia)

La pendiente alcanza un nivel muy alto de vulnerabilidad.



Figura 4-30 Escala de clasificación de la pendiente de la costa (Fuente propia)

El proceso se repetirá exactamente de la misma forma para el resto de las áreas de influencia mostrándose los resultados a continuación (Tabla 4-3).

4.2 Cálculo del ICV

Una vez hemos calculado el nivel de vulnerabilidad de todas las variables en una misma área de influencia, solo queda introducir estos valores en el ICV (4-1), para poder clasificarlo según una escala (Tabla 4-1). Esta escala ha sido creada exclusivamente para la región de la costa gallega, teniendo en cuenta el valor más alto y el valor más bajo de los cuatro casos estudiados, y posteriormente haciendo una escala entre ellos, dividida de forma equitativa.

$$IVC = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g}{7}} \quad (4-1)$$

Rangos de Vulnerabilidad de un área de influencia

	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Valores	7,85 – 8,88	8,88 – 9,91	9,91 – 10,94	10,94 – 11,97	11,97 – 13

Tabla 4-1 escala de clasificación según el resultado del ICV (Fuente propia)

Según la siguiente los resultados obtenidos en el apartado de resultados, las variables serán clasificadas según la siguiente tabla (Tabla 4-2).

Variables	Rango de valores				
	Muy Baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
PENDIENTE	0 – 5,27	5,27 – 13,01	13,01 – 22,35	22,35 – 58,17	58,17 – 89,58
VELOCIDAD DE LA CORRIENTE	0 – 14,2	14,2 – 28,4	28,4 – 42,6	42,6 – 56,8	56,8 - 71
DIRECCION DE LA CORRIENTE	290 – 350	350 – 20 250 – 290	210 – 250 20 - 70	70 – 110 160 – 210	110 - 160
OLEAJE	0 – 2,55	2,55 – 5,1	5,1 – 7,65	7,65 – 10,2	10,2 – 12,75
DIRECCION DEL VIENTO	290 – 350	350 – 20 250 – 290	210 – 250 20 - 70	70 – 110 160 – 210	110 - 160
VELOCIDAD DEL VIENTO	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 - 5
NIVEL DEL MAR	415 – 429	429 – 443	443 – 457	457 – 471	471 - 485

Tabla 4-2 Escala de las diferentes variables estudiadas (Fuente propia)

Finalmente, con el nivel de vulnerabilidad obtenido de todas las variables en la tabla anterior realizamos el ICV quedando los resultados de las diferentes áreas de influencia según se muestran en la siguiente tabla (Tabla 4-3).

Área de influencia	Valores	Producto	Cociente	raíz	Vulnerabilidad
Ría de Pontevedra	3-4-1-3-4-1-3	432	61,7	7,85	Muy baja
Playa de Baldaio	5-4-2-5-2-3-1	1200	171,4	13	Muy alta
Cabo Ortegal	3-4-1-3-3-5-1	540	77,1	8,78	Muy baja
Villanueva de Arosa	3-4-1-4-4-1-3	576	82,28	9	Baja

Tabla 4-3 Valores del ICV en las distintas áreas de influencia (Fuente propia)

Por lo tanto, podemos observar que la vulnerabilidad en el área de influencia creada en el interior de la Ría de Pontevedra es muy baja ya que tiene un ICV de valor 7,85, siendo asimismo el área menos vulnerable de los 4. Esto probablemente pueda ser debido a que se encuentra protegido en el interior de una ría por agentes naturales.

La vulnerabilidad en el área de influencia creado en la Playa de Baldaio es muy alta ya que tiene un ICV de valor 13. Claramente se puede distinguir que la playa de Baldaio es mucho más vulnerable que los otros tres casos, y esto se debe a que no se encuentra en el interior de ninguna ría y que está expuesta a la acción agresiva de las variables estudiadas, además de que la pendiente sea claramente muy baja, lo que por lo tanto supone un riesgo muy alto ante inundaciones y la acción erosiva del mar.

Por otro lado, la vulnerabilidad en el Cabo Ortegal es muy baja, ya que se trata de acantilado con una gran pendiente, como era de esperar, y a pesar de que las variables que hemos estudiado afectan en esa zona de una forma agresiva.

Por último, Villanueva de Arosa tiene una vulnerabilidad baja, aunque más elevada que las dos primeras, y esto puede deberse a la acción agresiva de los agentes en esa zona, aunque es baja debido a la protección de elementos artificiales.

Sería necesario el estudio de más áreas de influencia a lo largo de toda la costa gallega para lograr una clasificación con más variedad, y por lo tanto conseguir mayor realismo tanto en los intervalos de las escalas como en la clasificación de las áreas.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Concluido el apartado anterior, podemos concluir que se han obtenido los resultados planteados como objetivos al inicio del presente trabajo, esto es, una base de datos con los mapas de las diferentes variables que afectan a la vulnerabilidad costera, por lo que se puede afirmar que los objetivos se han cumplido con éxito.

Como el título del TFG indica “*Elaboración de una base de datos con información oceanográfica para la evaluación de la vulnerabilidad costera en Galicia*”, se ha conseguido obtener las diferentes variables que afectan de diferentes fuentes y tratar con las herramientas SIG para obtener esa información en todos los puntos de la costa gallega. En algunos casos como puede ser el oleaje, se ha conseguido una mayor exactitud de la información en todos los puntos de la costa, especialmente en aquellos cercanos a la costa. Sin embargo, en otras variables como la corriente no se ha conseguido el nivel de exactitud de la información, debido a la escasa disposición de puntos SIMAR (boyas) que nos ofrecen datos sobre esta variable.

Es cierto que existen numerosas variables que pueden afectar a la vulnerabilidad de la costa, las cuales no han podido ser evaluadas e introducidas en nuestro estudio. No obstante, debemos estar satisfechos ya que estas no se han incluido en el estudio ya que solo se deben tener en cuenta las variables que más afectan, y aquellas que suponen un cambio casi despreciable en el resultado deben descartarse, ya que serían numerosas.

El estudio de las variables de forma independiente entre ellas nos ha permitido obtener mapas, que permiten de forma rápida visualizar la costa gallega y conocer en qué parte de esta la variable afecta de una forma más importante. También el hecho de que se encuentren analizadas de forma independiente permite su uso para cualquier otra finalidad.

Centrándonos en el resultado de haber combinado todas las variables previamente analizadas y tratarlas para obtener el Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV), cabe destacar que no es el resultado esperado debido a diferentes causas:

- 1) La falta de exactitud de los datos en algunas variables, ya que, al estudiarse zonas amplias, los datos obtenidos son intervalos en algunas ocasiones, en vez de ser un valor puntual.
- 2) La realización de pocas áreas de influencia para hallar el ICV a lo largo de toda la costa de Galicia y así poder determinar las zonas vulnerables en la costa gallega. Esto se debe a la falta de tiempo ya que se trata de repetir el mismo proceso en distintas áreas de influencia en toda la costa gallega, ya que tiene 1498 km de costa.

- 3) Una escala de clasificación más exacta, esto se debe a la falta de áreas de influencia analizadas.

Sin embargo, podemos estar satisfechos al haber conseguido el objetivo de calcular el ICV y poder clasificar cualquier zona de la costa gallega según la escala de clasificación establecida.

5.2 Líneas futuras

Tras haber conseguido la realización de una base de datos con diferentes variables oceanográficas y la determinación de la vulnerabilidad de la costa gallega en determinadas zonas mediante el empleo de herramientas SIG como *gvSIG*, se proponen las siguientes líneas futuras:

- 1) La incorporación de nuevas variables que afecten a la vulnerabilidad, aunque no sean tan influyentes, de forma que el resultado del cálculo del ICV sea más exacto. El criterio de Gornitz permite añadir tantas variables como sea necesario, aunque si alguna de ellas carece de influencia, debe evitarse.
- 2) Conseguir una mayor exactitud en la información de las variables obtenidas de forma que las áreas de influencia sean cada vez de una longitud o área menor, y por lo tanto ser más precisos a la hora de calcular el ICV.
- 3) La repetición del proceso de cálculo del ICV en áreas sucesivas, que se encuentren solapadas, de tal forma que se consiga determinar la vulnerabilidad costera a lo largo de toda la costa gallega.
- 4) Implantación de un programa que automatice el cálculo de los resultados y los muestre de forma visual por colores según su nivel de vulnerabilidad. Es decir, simplemente seleccionando un área de influencia, calcule de forma automática el ICV y lo muestre en la pantalla por una escala de colores.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comision Europea, “Causas del cambio climático,” 2022. https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_es (accessed Mar. 15, 2022).
- [2] la enciclopedia libre Wikipedia, “Geografía de Galicia,” 2022. https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Galicia (accessed Mar. 16, 2022).
- [3] Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, “Caracterización del litoral,” 2022. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/conociendo-litoral/zonas-litorales-espanolas/clasificacion-geografica/costa-cantabrica-galicia.aspx> (accessed Mar. 15, 2022).
- [4] Xunta de Galicia, “La economía gallega,” 2022. <https://www.xunta.gal/notas-de-prensa/-/nova/66416/economia-gallega-crecio-ano-2021-5-2-dos-decimas-por-encima-espana> (accessed Mar. 15, 2022).
- [5] J. C. Núñez Gómez, R. Ramos Reyes, E. Barba Macías, A. Espinoza Tenorio, and L. M. Gama Campillo, “Investigaciones geográficas,” *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, vol. 2016, no. 91, pp. 70–85, Dec. 2016, doi: 10.14350/RIG.50172.
- [6] A.: Erika *et al.*, “ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE VULNERABILIDAD COSTERA MEDIANTE CVI DE LA MITAD SUR DE LA ISLA DE GRAN CANARIA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,” 2013.
- [7] DIEGO VILLANUEVA ARRELUCE, “GEOMORFOLOGÍA, DINÁMICAS Y VULNERABILIDAD COSTERA HUMANAS,” 2017.
- [8] Gustavo Rondón Ramírez, “Adaptacion De Un Índice De Vulnerabilidad Costera - StuDocu,” 2018. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-del-pacifico-peru/nivelacion-de-lenguaje/dialnet-adaptacion-de-un-indice-de-vulnerabilidad-costera-ivcpara-6554892/17358502> (accessed Mar. 16, 2022).
- [9] R. R. Kokot, J. O. Codignotto, and M. Elissondo, “Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro,” *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 59, no. 3, pp. 477–487, 2004.
- [10] D. I. Marinas, G. A. Ballesteros Pelegrín, J. S. Balibrea, P. G. Moreno, and F. B. Serrato, “Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España),” *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 40, no. 2. Universidad Complutense Madrid, pp. 373–392, Dec. 01, 2020. doi: 10.5209/AGUC.72979.

- [11] J. C. Núñez Gómez, R. Ramos Reyes, E. Barba Macías, A. Espinoza Tenorio, and L. M. Gama Campillo, “Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México,” *Investigaciones Geográficas*, vol. 2016, no. 91, pp. 70–85, Dec. 2016, doi: 10.14350/rig.50172.
- [12] J. M. Fernández, G. R. Bértola, and A. M. Campo, “APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI) A LOS BARRIOS COSTEROS DEL PARTIDO DE MAR CHIQUITA, BUENOS AIRES, ARGENTINA,” 2017.
- [13] N. Guillermo Rangel-Buitrago Blanca Oliva Posada-Posada, “DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO COSTERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG Y MÉTODOS MULTICRITERIO,” 2013.
- [14] Geografía física, “Tipos de Costas,” 2012. <http://geografiadeprimero.blogspot.com/2009/06/tipos-de-costas.html> (accessed Mar. 15, 2022).
- [15] ORACLE, “Qué es una base de datos,” 2011. <https://www.oracle.com/es/database/what-is-database/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [16] Platzi, “Breve historia del origen de las bases de datos,” 2010. <https://platzi.com/blog/historia-origen-bases-de-datos/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [17] Desconocido, “HISTORIA DE LAS BASES DE DATOS,” 2022. <https://sites.google.com/site/historiadelasbasesdedatos/historia/ano-1en-1884> (accessed Mar. 16, 2022).
- [18] Historia de la informática, “Historia de las Bases de Datos,” 2022. <https://histinf.blogs.upv.es/2011/01/04/historia-de-las-bases-de-datos/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [19] Best In BI, “Bases-de-Datos,” 2022. <https://bestinbi.es/tecnologias-business-intelligence/bases-de-datos/> (accessed Mar. 16, 2022).
- [20] Platzi, “Breve historia del origen de las bases de datos,” 2022. <https://platzi.com/blog/historia-origen-bases-de-datos/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [21] Ayudaley, “Bases de datos estáticas. ¿Qué son? Ejemplos,” 2022. <https://ayudaleyprotecciondatos.es/bases-de-datos/estaticas/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [22] Bases de datos, “TIPOS Y EJEMPLOS DE BASES DE DATOS - bases de datos,” 2022. <https://sites.google.com/site/basesdedatos2923/tipos-y-ejemplos-de-bases-de-da> (accessed Mar. 14, 2022).
- [23] Bases de datos Dinamicas, “Bases de datos dinámicas,” 2022. <http://jesusmendez4da.blogspot.com/2012/11/bases-de-datos-dinamicas.html> (accessed Mar. 14, 2022).
- [24] E. Primo-Peña and J. M. Estrada-Lorenzo, “Las bases de datos bibliográficas españolas, un instrumento para el conocimiento y la difusión de la producción científica,” *Seminarios de la Fundación Española de Reumatología*, vol. 10, no. 4, pp. 132–141, oct. 2009, doi: 10.1016/J.SEMREU.2009.09.004.
- [25] Open Office, “La base de datos bibliográfica - Apache OpenOffice Wiki,” 2022. <https://wiki.openoffice.org/wiki/ES/Manuales/GuiaAOO/Integrar/Bibliografia> (accessed Mar. 14, 2022).
- [26] Química.es, “Base_de_datos_biológica,” 2022. https://www.quimica.es/enciclopedia/Base_de_datos_biol%C3%B3gica.html (accessed Mar. 16, 2022).

- [27] Data Base, “Bases de datos de información química o biológica - Data Base,” 2022. <https://sites.google.com/site/autonomobd/home/bases-de-datos-de-informacion-quimica-o-biologica> (accessed Mar. 14, 2022).
- [28] Wiki, “Modelo de base de datos jerárquica Historiay,” 2012. https://hmong.es/wiki/Hierarchical_database_model (accessed Mar. 15, 2022).
- [29] Ayudaley, “Bases de datos jerárquicas ¿Qué son? Ejemplos | AyudaLey Datos,” 2022. <https://ayudaleyprotecciondatos.es/bases-de-datos/jerarquicas/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [30] Hostingplus, “Modelo de red de una base de datos: ¿cuáles son sus características?,” 2022. <https://www.hostingplus.com.es/blog/modelo-de-red-de-una-base-de-datos-cuales-son-sus-caracteristicas/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [31] Maria Elena Totorá, “TIPOS DE BASE DE DATOS – Maria Elena Totorá,” 2022. <https://mariatotora.wordpress.com/2015/11/10/tipos-de-base-de-datos/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [32] eomapik, “¿Por qué trabajar con bases de datos espaciales en GIS?” <http://www.geomapik.com/recursos-gis/ventajas-usar-bases-datos-espaciales/> (accessed Mar. 16, 2022).
- [33] G. Curtis, “Sistemas de Información Geográfica,” p. 278, 2006.
- [34] Mundo GIS y Arqueología, “Breve historia de los SIG,” 2016. <http://mundogis.info/blog/2017/11/22/la-historia-de-los-sig-sistema-de-informacion-geografica/> (accessed Mar. 16, 2022).
- [35] Aeroterra S.A., “Historia de SIG | Sistemas de Información Geográfica,” 2012. <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/historia-de-gis> (accessed Mar. 15, 2022).
- [36] el tiempo, “ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SIG -,” 2021. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-417744> (accessed Mar. 15, 2022).
- [37] rcGIS Resource Center, “Introducción a SIG |,” 2022. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm> (accessed Mar. 15, 2022).
- [38] M. Medina and M. Medina, *Cambio de paradigma: Sistemas de Información Geográfica gobernados por ontologías*, Wikipedia., vol. Wikipedia. 2011. Accessed: Mar. 14, 2022. [Online]. Available: <http://www.directionsmag.es/articles/cambio-de-paradigma-sistemas-de-informacion-geografica-gobernados-por-/210748>
- [39] esri, “The ArcGIS Book | The ArcGIS Book,” 2021. <https://learn.arcgis.com/es/arcgis-book/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [40] The ArcGIS Book, “Los grandes mapas necesitan grandes datos,” 2022. <https://learn.arcgis.com/es/arcgis-book/chapter4/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [41] MappingGIS, “Los formatos GIS ráster más populares,” 2010. <https://mappinggis.com/2015/12/los-formatos-gis-raster-mas-populares/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [42] ArcGIS, “Introducción a SIG | ArcGIS Resource Center,” 2022. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm> (accessed Mar. 14, 2022).
- [43] Imasgal, “Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica,” 2021. <https://imasgal.com/aplicaciones-sistemas-informacion-geografica/> (accessed Mar. 15, 2022).

- [44] ArcGIS for Desktop, “¿Qué es una capa?,” 2001. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/map/working-with-layers/what-is-a-layer-.htm> (accessed Mar. 15, 2022).
- [45] Geo innova, “¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? - Geoinnova,” 2022. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [46] Zigurat, “tecnologías para el análisis espacial y la visualización geográficas,” 2022. <https://www.e-zigurat.com/blog/es/sig-tecnologias-analisis-espacial-visualizacion/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [47] MappingGIS, “Qué es la topología y cómo crearla en ArcGIS Pro,” 2022. <https://mappinggis.com/2019/10/que-es-la-topologia-y-como-crearla-en-arcgis-pro/> (accessed Mar. 15, 2022).
- [48] GEASIG, “Análisis de MDT y superficies con ArcGIS | Tutoriales ArcGIS,” 2022. <https://www.geasig.com/analisis-mdt-y-superficies-con-arcgis/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [49] Imasgal, “Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica,” 2022. <https://imasgal.com/aplicaciones-sistemas-informacion-geografica/> (accessed Mar. 16, 2022).
- [50] cursosGIS, “Cómo crear mapa de ruta a partir de datos track en ArcGIS,” 2012. <https://www.cursosgis.com/como-crear-un-mapa-de-ruta-a-partir-de-los-datos-de-tu-track-en-arcgis/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [51] Gil Miguel Manzano Agugliaro, “Desarrollo de una metodología de actualización discreta de la cartografía.” https://books.google.es/books?id=TRpSAQAAQBAJ&pg=PA23&lpg=PA23&dq=aplicaci%C3%B3n+de+los+SIG+comercial+agraria+construccion&source=bl&ots=ocC91vD_OT&sig=ACfU3U3xb9fzXspWN_QfkkIDv9USnCkxrw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj sxdDdjMn2AhUFvaQKHWRaChAQ6AF6BAhHEAM#v=onepage&q=aplicaci%C3%B3n%20de%20los%20SIG%20comercial%20agraria%20construccion&f=false (accessed Mar. 15, 2022).
- [52] Promtubeam, “Los SIG aplicados a proyectos y gestión de carreteras,” 2022. https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=19 (accessed Mar. 14, 2022).
- [53] Geo mapik, “¿Por qué trabajar con bases de datos espaciales en GIS? - geomapik,” 2022. <http://www.geomapik.com/recursos-gis/ventajas-usar-bases-datos-espaciales/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [54] Kyocera, “Características avanzadas de un SGBD,” 2022. <https://www.kyoceradocumentsolutions.es/es/smarter-workspaces/business-challenges/procesos/caracteristicas-avanzadas-de-un-sgbd.html> (accessed Mar. 15, 2022).
- [55] Autor desconocido, “Sistemas de Gestión de Bases de datos y SIG,” 2022.
- [56] Made for Minds, “Estudio: el deshielo provocó una subida del nivel del mar,” 2022. <https://www.dw.com/es/estudio-el-deshielo-provoc%C3%B3-una-subida-del-nivel-del-mar-de-1cm-en-diez-a%C3%B1os/a-59686583> (accessed Mar. 16, 2022).
- [57] Blog Tecnoceano, “Deshielo de los casquetes polares |,” 2015. <https://blog.tecnoceano.com/deshielo-de-los-casquetes-polares/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [58] U. Politécnica De Madrid Descripción, Y. Análisis, D. Oleaje M A Del Carmen, P. Monzón, J. Luis, and A. Gárate, “Descripción, medida y análisis del oleaje”.

- [59] Meteogalicia, “Glosario: El viento,” 2022. https://www.meteogalicia.gal/web/informacion/glosario/aire2.action?request_locale=es (accessed Mar. 16, 2022).
- [60] Concepto, “Corrientes Marinas - Concepto, tipos y causas,” 2013. <https://concepto.de/corrientes-marinas/> (accessed Mar. 16, 2022).
- [61] Cuaderno de Cultura Científica, “Navegación y corrientes oceánicas,” 2011. <https://culturacientifica.com/2021/11/25/navegacion-y-corrientes-oceanicas/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [62] Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, “Puertos del Estado,” 2022. <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx> (accessed Mar. 14, 2022).
- [63] M. y A. urbana Ministerio de Transportes, “Instituto Geográfico Nacional,” 2022. <http://www.ign.es/web/ign/portal> (accessed Mar. 14, 2022).
- [64] Xunta de Galicia, “Información xeográfica de Galicia,” 2022. <http://mapas.xunta.gal/portada> (accessed Mar. 14, 2022).
- [65] gvSIG, “Inicio - Portal gvSIG,” 2022. <http://www.gvsig.com/es> (accessed Mar. 16, 2022).
- [66] C. San and V. Martir, “Manual de usuario gvSIG 2.2,” 2015, Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: <http://www.gvsig.com/es/comunidad/listas-de-correo>
- [67] CursosGIS, “Crear Zonas de Influencia con GvSIG,” 2021. <https://www.cursosgis.com/crear-zonas-de-influencia-con-gvsig/> (accessed Mar. 14, 2022).
- [68] ArcGIS for Desktop, “Qué es ArcMap,” 2022. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm> (accessed Mar. 16, 2022).
- [69] Universidad de Cantabria, “ArcGIS,” 2015. <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/ArcGIS.aspx> (accessed Mar. 14, 2022).
- [70] Meteogalicia, “ATLAS DE OLEAJE DE GALICIA,” 2014.
- [71] Club Acivro, “iInterpretación de mapas.” <http://acivro.blogspot.com/2009/05/cartografia-1-introduccion-un-mapa-es.html> (accessed Mar. 17, 2022).
- [72] Google Earth, “Google Earth.” <https://www.google.com/intl/es/earth/> (accessed Mar. 24, 2022).