

Análisis Geomorfológico y evaluación de los riesgos geológicos asociados a los cambios antrópicos en la ría del Nervión

TRABAJO FIN DE GRADO

SHEILA MARTIN MARCOS

DIRECTOR: GLORIA DESIR VALÉN



ÍNDICE

1. ABSTRACT	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 Justificación	2
2.2 Antecedentes	4
2.3 Objetivos.....	5
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	6
3.1 Situación geográfica	6
3.2 Situación geológica.....	7
4. METODOLOGÍA.....	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
5.1 Contexto Geomorfológico	11
5.2 Análisis de riesgos	12
5.2.1 Riesgo por movimiento de masas	12
5.2.2 Riesgo de avenidas	13
5.2.2.1 Antecedentes	13
5.2.2.2 Análisis del riesgo por avenidas	16
6. CONCLUSIONS	19
7. BIBLIOGRAFÍA	20
ANEXOS	22

1. ABSTRACT

Since historical times, especially during the last centuries, the Nervion estuary has suffered drastically human induced changes in its path and uses that has altered its natural evolution and dynamics to a human-controlled fluvial pathway. It is a highly modified estuary that in main extension of its course is regularized by an artificial channel. Besides of this anthropic pressure on the estuary, there is still a clear hydrodynamic control of tides in the lower parts of the estuary, from La Peña neighborhood till its mouth. The morphology and extension of the estuary system have been constantly modified by sediments deposition related to sea level changes. Nowadays, the morphology and extension are more affected by urban, industrial and port infrastructures built along the riverbed.

On the other hand, climate of the area is characterized by important rainfall amounts, with an average of annual rainfall of 1190 mm. This fact, together with the high tide amplitude, with a maximum of 4.6 m and, a high topographical contrast, ranges from 0 m at sea level to 320 m in a very short length lapse give place to important floods, especially when rainfall events area at the same time than high tide phases. This involves a high complexity in the design of the risk zones.

The aim in this work is to analyses and evaluate natural risks in this area based on a geomorphologic analysis and the study of past significant floods, to identify the active processes and the affections to the natural dynamic caused in the estuary by human changes.

1. INTRODUCCIÓN

2.1 Justificación

Desde la fundación de la Villa de Bilbao en el año 1300, se han llevado a cabo numerosas obras con la finalidad de llevar a cabo un encauzamiento de la ría que ha modificado por completo el curso original de la misma, mediante diques, espigones y construcciones portuarias. Estos constantes intentos de encauzar el curso bajo del río Nervión, se realizaron con dos objetivos principales, lograr un desarrollo industrial, mediante la construcción de infraestructuras necesarias para el desarrollo de la industria y al mismo tiempo prevenir las numerosas avenidas que han tenido lugar a lo largo de la historia (Cearreta,1992).

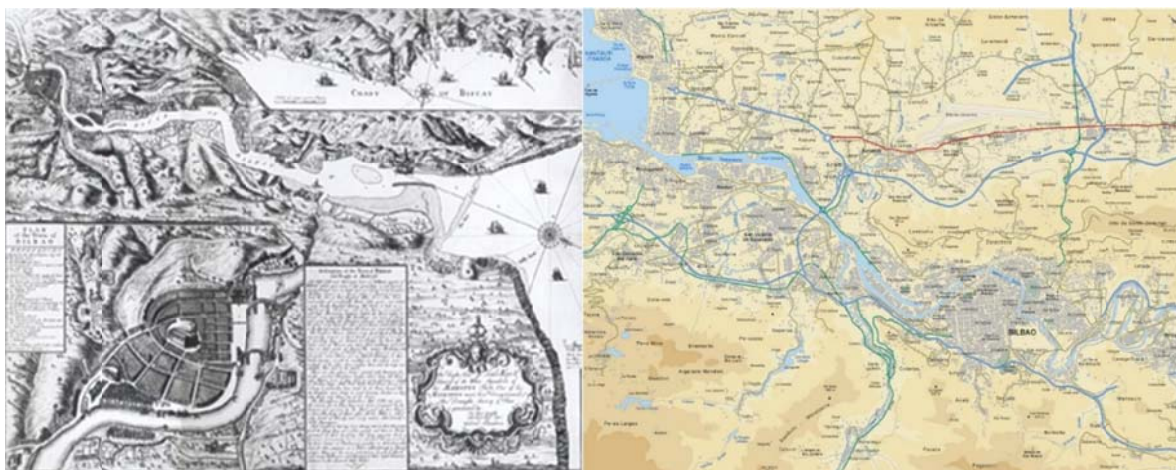


Figura 1. Plano de Bilbao y la Ría en los años 1739 y en la actualidad.

El actual trazado de la ría se encuentra completamente modificado (Fig.1), debido a que en su situación original no era apto para la navegación de grandes buques. (Leorri y Cearreta, 2009). Por ejemplo, antes de las obras de encauzamiento, durante la pleamar, la ría se extendía desde el Arenal hasta las marismas de Getxo (Cearreta, 1992), provocando que las embarcaciones encallaran en las barras de arena que se depositaban.

A finales del siglo XV y hasta mediados del siglo XIX, el Consulado de Bilbao realizó obras sobre la mayor parte del curso de la ría, con aproximadamente 21 km de muelles, que mejoraron la navegabilidad y la evacuación de las grandes avenidas (Fig. 1). Sin embargo, las obras realizadas en la desembocadura del Abra, no fueron eficaces, hasta que en 1877, el presidente de la Junta de Obras del Puerto de Bilbao, Evaristo Churrua, decidió prolongar el muelle de la margen derecha del Abra (Fig.2), consiguiendo que las arenas movilizadas por las corrientes no formaran barras que impidieran el paso de grandes buques (Cearreta, 1992).

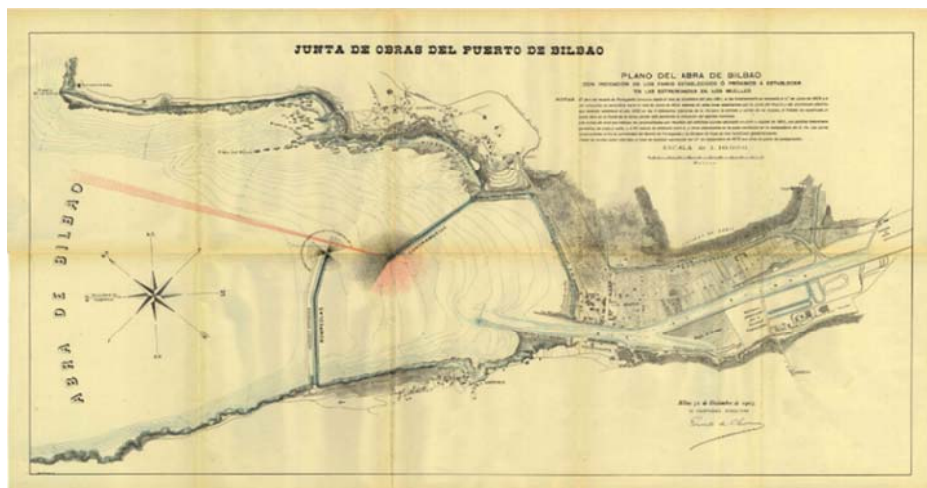


Figura 2. Plano de la Junta de Obras del Puerto de Bilbao con la situación de los diques proyectados por Evaristo Churrua en el Abra.

El último proyecto de la Junta de Obras, ideado en la década de los años 30, se denominó “Canal de Deusto”, y fue finalmente llevado a cabo parcialmente en la década de los 60, con la apertura de una dársena aguas abajo en San Inazio (Fig.1). Finalmente, en el actual Plan de Ordenación Urbana, se contempla la apertura total del canal, convirtiendo Zorrozaurre en una isla urbanizable (Fig.3) dentro del cauce (Cearreta, 1992).



Figura 3. Proyecto de la Isla de Zorrozaurre en el Plan de Ordenación Urbana de Bilbao.

El desarrollo de la ciudad, urbano e industrial, ha sido evidente, con la implantación de grandes empresas en las marismas de la ría, como fueron, por ejemplo, Altos Hornos de Vizcaya, creada por fusión de otras tres empresas en el año 1902, astilleros La Naval, fundada en 1915, o astilleros Euskalduna, fundada en el año 1900. Estas tres empresas fueron el símbolo del Bilbao industrial, creando un gran impacto tanto el paisaje como en las condiciones medioambientales de la ría. La primera se situaba entre Barakaldo y Sestao, la segunda se situaba en Sestao, en terrenos de los Altos Hornos, y la tercera entre el puente de Euskalduna y el puente de la Salve en plena ciudad de Bilbao. Durante los periodos de reconversión industrial, sufridos después de la Guerra Civil y hasta finales del siglo XX, dos de las empresas se vieron abocadas al cierre. Altos Hornos de Vizcaya en 1996, siendo sustituida por la actual ArcelorMittal Sestao S.L., y astilleros Euskalduna en 1986,

dejando como único astillero a La Naval, situada más próxima a la abertura del Abra, y con mayor calado para facilitar la salida de los buques.

Después de los procesos de reconversión industrial, los terrenos ocupados por estas empresas fueron englobados dentro del proyecto Bilbao Ría 2000, que contemplaba un uso urbanístico de los mismos y un acondicionamiento de diques y márgenes de la ría.

Este desarrollo, por tanto, ha tenido lugar sobre terrenos de marisma, y a pesar de las numerosas obras llevadas a cabo, las avenidas, aunque de menor entidad, siguen suponiendo un riesgo. La peligrosidad se ha visto incrementada al mismo tiempo que se ha incrementado el desarrollo urbano.

La prueba más cercana de este incremento de la peligrosidad fueron las inundaciones de Agosto de 1983, que registraron unas precipitaciones de excepcional intensidad, provocando inundaciones que se saldaron con 37 víctimas mortales y pérdidas económicas de 150000 millones de pesetas (Ibiate *et al.*, 2000).

2.2 Antecedentes

La formación y el riesgo de las crecidas e inundaciones en los ríos de la vertiente cantábrica del País Vasco, pueden justificarse a través de cinco factores (Ibiate *et al.*, 2000):

- Episodios de fuerte pluviometría. Se producen numerosas precipitaciones orográficas, cuando un volumen de aire húmedo asciende al encontrarse con un obstáculo orográfico, y frontales, en las que generalmente se pueden producir precipitaciones intensas que dan como resultado riadas catastróficas (Prieto y Lamas, 1985). A esta situación, hay que añadirle el desarrollo de galernas, paso rápido de SW a NW con depresión barométrica y fuerte aporte de humedad, actividad convectiva y lluvias locales fuertes (Prieto y Lamas 1985).
- Coeficientes de escorrentía altos, 0.5 y 0.7, por el predominio de rocas impermeables, suelos poco transmisivos, fuertes pendientes y alta densidad de urbanización.
- Tiempos de concentración cortos, por las fuertes pendientes, los valles y cauces estrechos.
- Ocupación de los cauces, elevada urbanización y desarrollo rápido de la población y de la industria.
- Desembocadura en el mar Cantábrico, donde se producen pleamares que elevan el nivel de los ríos en las desembocaduras.

Según los factores expuestos, la ría del Nervión muestra una vulnerabilidad muy alta a los episodios de crecidas e inundaciones. En los últimos 600 años, la ría del Nervión ha sufrido 39 inundaciones catastróficas (Fernández, 1993). La mayoría se produjeron antes de las obras de encauzamiento de la ría, pero en la segunda mitad del siglo XX, se volvieron a producir inundaciones en los años 1953, 1975, 1977 y 1983. Éstas se vieron propiciadas, además de por lo antes descrito, por el proceso de urbanización, industrialización y la falta de dragados y trabajos de mantenimiento en la ría (Basas, 1983). A finales del siglo XX, en Octubre de 1998 y principios del siglo XXI, en Junio de 2008 y Junio de 2010, la ría del Nervión volvió a registrar crecidos, pero sus consecuencias fueron de menor entidad.

La inundación más documentada fue la ocurrida en Agosto de 1983. Durante los días 25, 26 y 27 se registraron en Bilbao precipitaciones de hasta 392 mm.

La causa de estas lluvias intensas se caracterizó por una fuerte inestabilidad debida a un embolsamiento de aire frío en altura situado sobre una capa de aire caliente y cargado de humedad.

Se produjo un proceso de condensación provocando fuertes precipitaciones en poco tiempo (Olcina, 1994) (Capel, 1983).

A esta situación atmosférica se unieron tres factores más, que fueron determinantes en la magnitud de las inundaciones. Estos factores fueron la saturación total de los suelos, debido a las lluvias anteriores, la llegada de la avenida procedente de las partes media y alta de la cuenca y la llegada de la pleamar, que aumentó el nivel + 1.773 m sobre el nivel del mar.

Los factores antrópicos se sumaron a los naturales, estando situados en las llanuras de inundación las zonas residenciales e industriales. El cauce no tuvo suficiente capacidad para acoger el volumen de agua y de carga, y los puentes e incluso barcos hicieron efecto de represa provocando una escorrentía que anegó los núcleos urbanos. Dos ejemplos significativos de este efecto tuvieron lugar en el puente de Basauri, donde una sección del cauce de unos 1400 m² se redujo a 550 m², aumentando la velocidad de la corriente (Prieto y Lamas, 1985), y el barco “*Consulado de Bilbao*”, que rompió los amarres y se cruzó en el cauce de la ría.

Desde estas inundaciones, se han llevado a cabo acciones por diferentes organismos. Principalmente, el Gobierno Vasco ejecutó un Plan de Reconstrucción que consistió en la limpieza y dragado de los cauces, refuerzo de los márgenes, eliminación de puntos negros, encauzamientos, acondicionamiento de presas y reposición de abastecimiento y saneamientos (Ibáñez *et al.*, 2000).

2.3 Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son conocer la situación actual de la ría del Nervión, a su paso por la ciudad de Bilbao y hasta su desembocadura, y compararla con situaciones anteriores y futuras, intentando determinar si los cambios antrópicos realizados sobre el cauce son beneficiosos o perjudiciales en cuanto al riesgo de inundación.

El conocimiento tanto de los procesos naturales como de los cambios de origen artificial (urbanos, industriales y portuarios) que han operado sobre la ría es fundamental para poder desarrollar una gestión racional del medio.

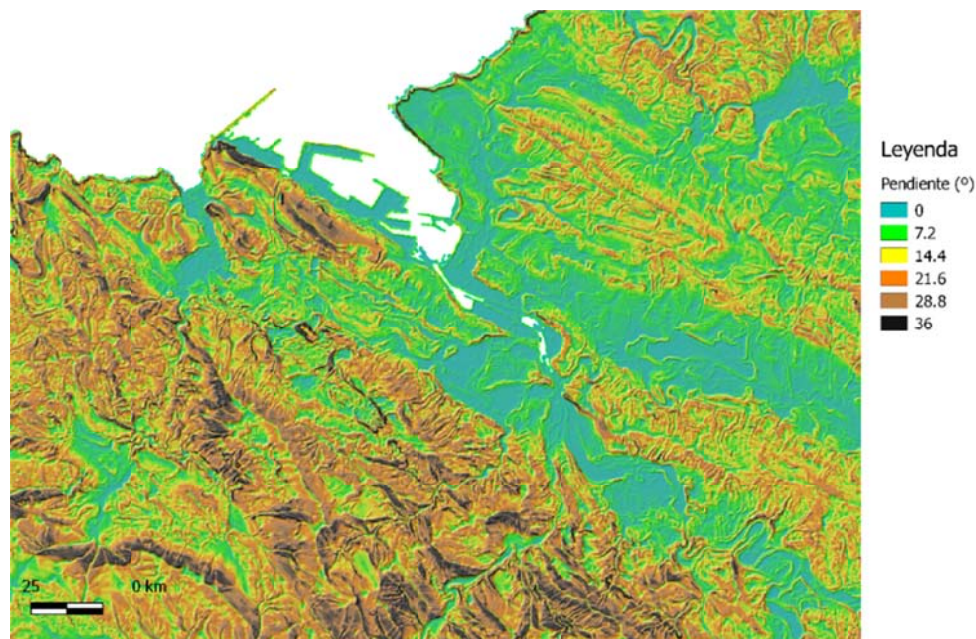


Figura 5. Mapa de pendientes. Cada color representa la pendiente en número de grados. Generado con software QGIS 2.18.0.

La climatología del área se caracteriza por presentar una importante pluviosidad, 1190 mm de precipitación media anual, que en ocasiones llega a provocar inundaciones, especialmente cuando los episodios de precipitación coinciden con fases de marea alta. Esto implica una elevada complejidad en el diseño de la zonificación del riesgo.

3.2 Situación geológica

Geológicamente, se sitúa al Norte de la cuenca Vasco-Cantábrica, en el denominado Arco Vasco (Feuillée y Rat. 1971). Éste constituye la prolongación occidental de la zona Norpirenaica y se trata de la zona de mayor subsidencia tectónica y de mayor extensión Mesozoica de la cuenca Vasco-Cantábrica (Mapa 1).

El Arco Vasco está formado por tres conjuntos estructurales (Fig. 6), cuyas direcciones son aproximadamente NO-SE, y que de Norte a Sur son, el Anticlinorio del Norte de Vizcaya, el Sinclinorio de Vizcaya y el Anticlinorio de Bilbao (Cuevas *et al.*, 1999). La zona del estudio se localiza en la falla de Otxandiano o falla de Bilbao, tratándose de un cabalgamiento que pone en contacto los materiales del Cretácico Inferior del núcleo del Anticlinorio de Bilbao con el Cretácico Superior y el Cenozoico del núcleo del Sinclinorio de Vizcaya (Aranguren *et al.*, 1990). Esta falla, que es interpretada como una falla inversa a favor de un flanco invertido de un pliegue anticlinal (Soler *et al.*, 1981), provocó una diferencia neta entre los materiales del Cretácico Superior y Cenozoico y los del Cretácico Inferior, en la que se encajó la Ría del Nervión (Cearreta, 1992).

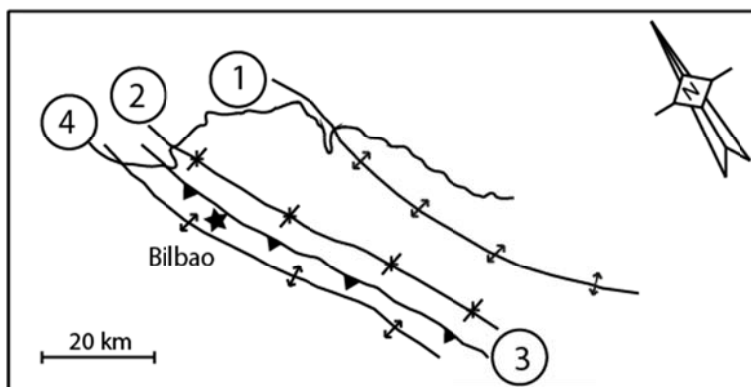
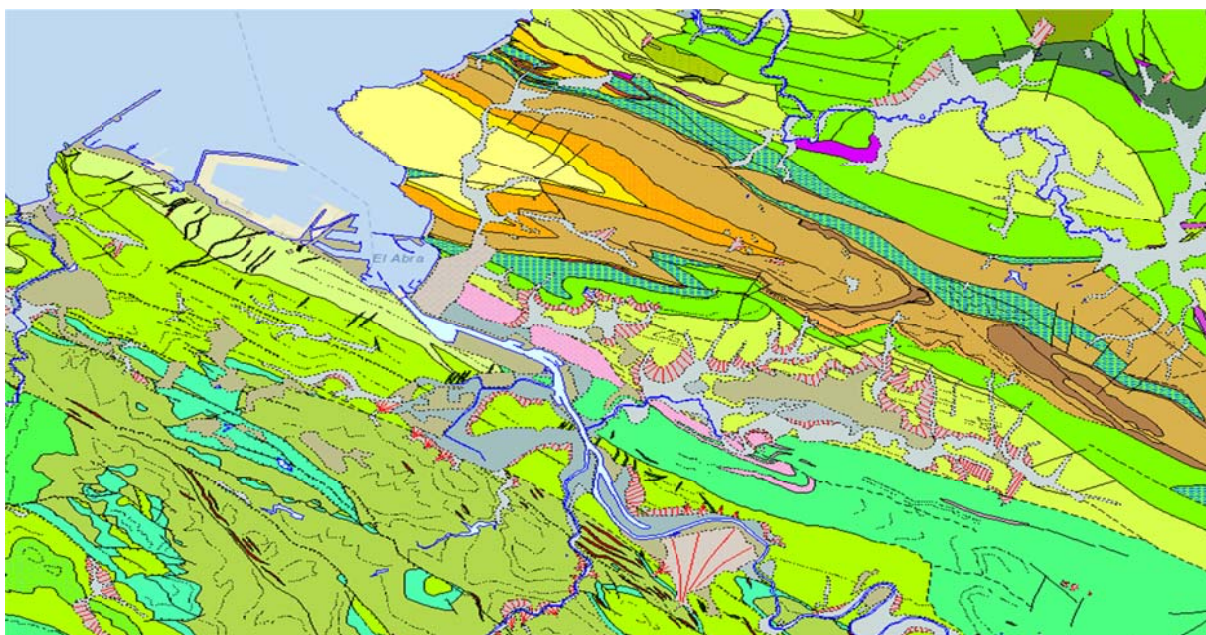


Figura 6. Esquema estructural del Arco Vasco. Anticlinorio del Norte de Bizkaia (1); Sinclinorio de Bizkaia (2); Falla de Otxandiano (3); Anticlinorio de Bilbao (4). Modificado de Aranguren et al., 1990.

Los materiales pertenecientes al Cretácico Inferior (Aptiense-Albiense) se han dividido históricamente en dos grandes conjuntos (Rat,1959), y son el Complejo Urgoniano (Aptiense-Albiense Inferior) y el Complejo Supraurgoniano (Albiense Superior). No existe una diferencia neta entre ambos conjuntos, estando interdigitados los materiales del complejo Urgoniano con las series del Complejo Supraurgoniano.

El Complejo Urgoniano está formado por calizas urgonianas, compuestas por rudistas, corales y orbitolinas, depositadas en condiciones marinas de sedimentación caliza, margosa o areniscosa dependiendo de la situación espacio-temporal (García Mondéjar *et al.*, 1982). Estas calizas están metasomatizadas debido al ascenso de fluidos mineralizadores, como consecuencia de la extensión cortical relacionada con la apertura del Golfo de Vizcaya (Vera, 2004).

Los materiales lutíticos y areniscosos del Complejo Supraurgoniano se depositaron en un ambiente marino relativamente profundo, como indican los tramos de deslizamientos (slumps) que aparecen en este complejo (García-Mondéjar *et al.*, 1982).



Mapa 1. Mapa geológico general, tomado del Navegador de Información Geocientífica del IGME.

El tránsito Albiense superior-Cenomaniense Inferior (Cretácico inferior-Cretácico superior), está caracterizado por la Fm. Areniscas de Valmaseda, una alternancia de arenas gruesas y compactas con areniscas margosas y margas más arenosas y finas de colores grises oscuros y nódulos ferruginosos amarillos.

Esta formación aparece en una faja estrecha al norte de Bilbao.

La unidad superior, está formada por una alternancia de margas y areniscas en las que aparecen niveles de rocas ígneas en el sector de Las Arenas, resultado de coladas volcánicas submarinas con emplazamiento a favor de fallas profundas (Garcia-Mondéjar *et al.*, 1996).

A partir del Turoniense y hasta el final del Cretácico Superior, aparecen calizas y margas estratificadas en niveles de diferente espesor.

La transgresión Cenozoica está marcada por bancos gruesos de areniscas y microconglomerados, seguida por una alternancia de areniscas, margas y arenas con algún nivel calizo. En su parte terminal encontramos intercalaciones de areniscas con cantos cuarcíticos y margas.

El Cuaternario se caracteriza por depósitos de estuario, lecho y ribera de los ríos, formados por materiales propios de las llanuras aluviales (IGME, 1975).

3. METODOLOGÍA

La metodología que se ha seguido para la realización de este trabajo ha sido, en primer lugar, común a los trabajos cartográficos y de investigación. Así se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de la zona donde se sitúa el presente trabajo.

En segundo lugar y con el objetivo de completar aspectos no recogidos en la bibliografía existente, se ha realizado una cartografía geomorfológica de la zona sobre fotografías aéreas en formato 3D, tomadas del visor cartográfico del IGN y ortofotos del vuelo fotogramétrico del 2014 (PNOA).

Mediante el software QGis 2.18.0, un sistema de información geográfica (GIS), se han georreferenciado las fotografías en el sistema de coordenadas ETRS89, para hacerlas coincidir con el sistema de referencia original de las mismas. A partir de la georreferenciación, se ha realizado la cartografía directamente en formato digital, generando una primera cartografía que se comprobó y corrigió durante los días de campo.

En cuanto a la evolución del cauce, se tomaron imágenes de los vuelos fotogramétricos de los años 1945-1946 (Americano Serie A), 1973-1986 Interministerial y 2014 (PNOA), y se georreferenciaron en el sistema citado anteriormente. Aplicando diferentes transparencias a las capas generadas, se han podido establecer las principales diferencias morfológicas del cauce de la ría del Nervión en los últimos 70 años.

Se ha procedido, por último, a la recopilación de datos que nos han servido de ejemplo para analizar la respuesta del sistema de la ría durante diferentes episodios de crecidas. Estos datos, obtenidos desde la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y de la Diputación Foral de Bizkaia (DFB), han sido procesados en una hoja de cálculo (Excel) para generar gráficos que puedan interpretarse de manera sencilla.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Contexto Geomorfológico

El análisis geomorfológico, plasmado en el mapa geomorfológico en el Anexo I, que se ha realizado de la zona, muestra tres características principales. Desde un punto de vista geomorfológico estas unidades se traducen en la presencia de un modelado estructural controlado por la tectónica que se articula en cuevas principalmente, un modelado que condiciona el posterior desarrollo del modelado fluvial y litoral en el fondo del valle, de manera que los depósitos cuaternarios sólo aparecen en una franja central reducida adosada a la ría del Nervión.

La primera hace referencia al control estructural del sistema de la ría, poniendo de manifiesto que éste se encuentra delimitado por conjuntos de fallas con la misma dirección NW-SE. El sistema de la ría del Nervión se formó durante la fase de compresión de la orogenia alpina, (García-Mondéjar y García Pascual, 1992), como consecuencia de la falla de Otxandiano (Leorri y Cearreta, 2009). Esta falla diferencia los materiales de la margen derecha (Cretácico Superior) de los de la margen izquierda (Cretácico Inferior).

La segunda pone de manifiesto el dominio fluvial o estuarino del sistema. La denominación del sistema como ría o estuario se ha ido modificando a lo largo de los años, condicionado por el alcance de las mareas en el mismo. Según Pritchard (1967), un estuario puede definirse como una masa de agua litoral semiconfinada que presenta conexión directa con el mar abierto y en cuyo interior el agua marina es diluida con agua dulce proveniente del drenaje continental. De acuerdo con planos antiguos existentes (Fig.7) se aprecia que hace 300 años aproximadamente, el dominio estuarino se limitaba a la salida al mar cantábrico, cubriendo una extensión de aproximadamente 20 km². La influencia mareal no se adentraba en el curso bajo de la ría del Nervión, entendiéndose por ría un valle fluvial que por causas tectónicas ha quedado sumergida.

Sin embargo, a causa de las modificaciones antrópicas (Fig.7), las nuevas características físicas han desembocado en un cambio de la dinámica del sistema, provocando que el sistema estuarino se adentre en el curso fluvial, y éste esté influido por cambios mareales. Dentro de este contexto, se han formado pequeñas playas dentro del sistema como consecuencia de la nueva dinámica de depósito.



Figura 7. Plano de Bilbao y la ría en el año 1739. En azul, detalle del estuario, semiconfinado entre barras de arenas. Tomado de Ayuntamiento de Bilbao. Vista de las modificaciones antrópicas del Abra Bilbaíno, tomada desde el Puente colgante de Portugalete.

Los materiales que caracterizan la llanura de inundación, en la parte central, influenciada por la acción mareal, son arcillas, limos y arenas de marisma, depositadas durante las transgresiones y regresiones holocenas. Estos depósitos están catalogados como Punto de Interés Geológico

(IGME,1990). En su parte inicial, sin influencia mareal, los depósitos de la llanura están formados por depósitos aluviales arcillas, limos, arenas y gravas holocenas. Los coluviones adyacentes a la llanura de inundación funcionan como enlaces entre ésta y los niveles inmediatamente superiores.

La tercera característica, denota el control marino existente en la parte NE, dónde se han formado playas de arena en una superficie de rasa como consecuencia de la dinámica litoral. La formación de esta rasa ha dado lugar a acantilados de más de 25 metros de altura sobre las playas.

5.2 Análisis de riesgos

En base a la cartografía realizada, se han identificado principalmente dos riesgos geológicos, como son el riesgo de deslizamientos y el riesgo de crecidas.

5.2.1 Riesgo por movimiento de masas

El riesgo por movimientos de masas en la zona estudiada es debido a las altas pendientes orográficas (Fig.5) y a la alta pluviometría característica de la zona (Fig.8). Básicamente se reconocen dos tipos de movimientos de masas que están controlados por la estructura de los materiales Mesozoicos. Por un lado, en las zonas próximas a los escarpes, existe riesgo por caídas y vuelcos de bloques, y en las zonas donde el buzamiento de las capas y la presencia de coluviones asociados a pendientes de menor orden dan lugar a la generación de deslizamientos de tipo rotacional o *slumps*.

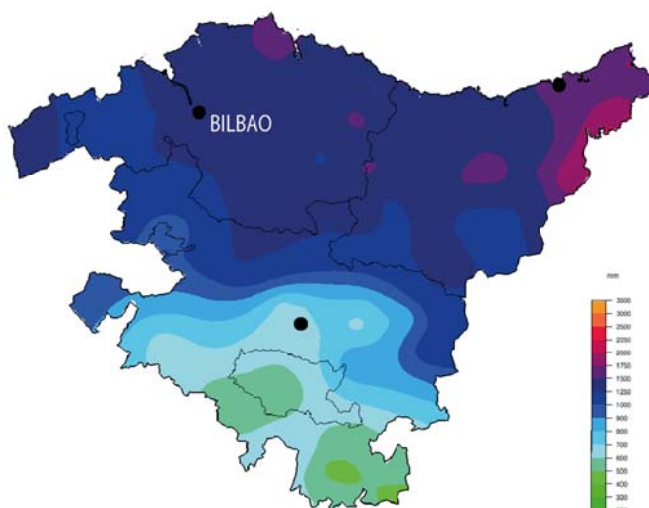


Figura 8. Precipitación acumulada anual en el año 2016. En azul marino, precipitación de hasta 1500 mm. Fuente Euskalmet.

El riesgo de deslizamientos está acrecentado por las modificaciones antrópicas, apreciándose, sobretudo, en la margen izquierda de la abertura del Abra como consecuencia de las obras de ampliación del puerto, y en la margen derecha, debajo de los montes Santo Domingo, Artxanda y Pikotamendi (Fotografía 1) (Anexo II).



Fotografía 1. Zona de caída de bloques debido a la excavación de infraestructuras.



Fotografía 2. Vista panorámica desde el monte Artxanda. Al fondo, cicatriz de deslizamiento rotacional.

5.2.2 Riesgo de avenidas

5.2.2.1 Antecedentes

Entre los factores que explican el riesgo de avenidas en el sistema de la ría del Nervión, expuestos anteriormente, cabe destacar la importancia de las mareas y la ocupación de los cauces (Fotografía 3). La Ría del Nervión ha presentado desde hace siglos un elevado índice de asentamiento humano lo cual ha condicionado tanto su evolución como la alteración de la dinámica natural de la ría. Se trata de una Ría altamente antropizada que en la mayor parte de su trazado está regularizada mediante un cauce artificial. La Ría del Nervión está controlada en su tramo bajo, a partir del Barrio de la Peña,

por la dinámica de las mareas. La morfología y extensión del sistema marino de la Ría de Bilbao han sido constantemente alteradas por la erosión y la deposición de sedimentos relacionados con cambios del nivel del mar y que en la actualidad están más afectados por las infraestructuras de origen urbano, industrial y portuario que han operado sobre este medio.

Las mareas son semidiurnas, con amplitudes entre 4.60 m en mareas vivas y 1.20 en mareas muertas, por lo que se produce un cambio relativo del nivel de base que supone la entrada de un volumen de agua del orden de 2.5 millones de m³ en mareas muertas y 7.5 millones de m³ en mareas vivas (Cearreta, 1992).



Fotografía 3. Detalle de la subida de la marea.

La ocupación del cauce, como se ha comentado con anterioridad, se ha producido de manera exponencial durante los dos últimos siglos. Para realizar un análisis cualitativo del cambio de morfología sufrido de manera antrópica en el cauce de la ría del Nervión, se han comparado imágenes de ésta a lo largo de los últimos 70 años (Fig. 9).

Durante el periodo entre 1945 y 1973, el principal cambio que se observa es la apertura del canal de Deusto en la década de los años 60. El nuevo canal ayudó a mitigar el impacto de las crecidas, aunque éstas siguen afectando actualmente la zona. Desde la zona de Barakaldo hasta Erandio, se construyeron diques y muelles para el uso de las industrias navales y de altos hornos, reduciendo y definiendo el cauce actual. Por último, el meandro de La Peña, vio reducida su sección por depósito natural del curso fluvial y antrópico procedente de la cantera situada en su parte externa.

Durante el periodo entre 1973 y 2014, uno de los principales cambios de la fisionomía de la Ría fue la modificación del trazado del meandro La Peña. Este cambio se llevó a cabo como una medida de corrección para evitar que se volvieran a producir los hechos desastrosos de la avenida Agosto de 1983, debido a que había sido una de las zonas más afectadas. Así, se aumentó su profundidad y modificó su trazado realizando un acortamiento y ganando terreno en su parte exterior. Para salvar el desnivel generado, se realizó una obra de escalonado en la entrada del meandro, lo que provoca también que la velocidad del caudal disminuya su velocidad.



Figura 9. Comparación de la morfología del cauce de la ría del Nervión desde 1945 hasta 2014.

Asimismo, se ha realizado una comparativa entre la situación actual y un escenario futuro, contemplado en el Proyecto Bilbao Ría 2000, que implica una total apertura del canal de Deusto (Fig.10), transformando la península de Zorrozaurre en una isla urbanizable dentro del cauce de la ría.

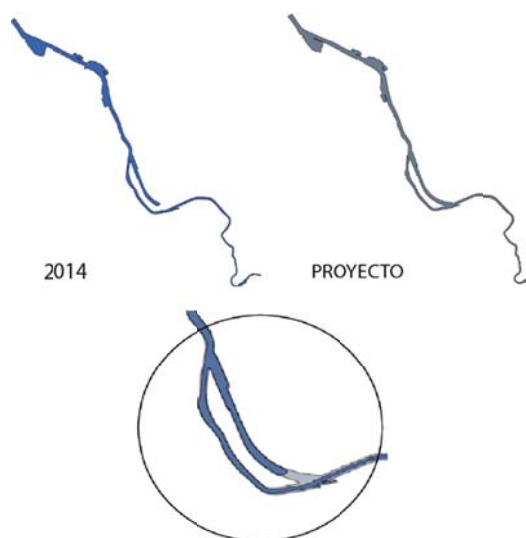


Figura 10. Apertura total del Canal de Deusto, enmarcado en el Proyecto Bilbao Ría 2000.

La realización de este proyecto tiene la función principal de aumentar la capacidad de desagüe de la ría del Nervión en el tramo entre Olabeaga y hasta la confluencia con el río Cadagua. Según el “Estudio hidráulico de la apertura del Canal de Deusto”, realizado para un período de retorno de 500 años y un caudal de $2510 \text{ m}^3/\text{s}$, la sección óptima para la apertura del canal es de 75 metros de anchura, con la que se obtendrían unos niveles de la lámina de agua inferiores a la situación actual (Tabla 1), y la cota segura de urbanización a efectos de inundaciones de +5,00 m sobre el nmma para la zona de Zorrozaurre.

Sin apertura del canal					Con apertura del canal de 75 m				
Q actual	sección	2143 m ³ /s	Nivel	4.70-5.10 m	Q actual	sección	1420 m ³ /s	Nivel	4.35 m
Q actual	dársena	317 m ³ /s	Nivel	4.70-5.10 m	Q canal		1090 m ³ /s	Nivel	4.15 m

Tabla 1. Datos comparativos de caudal y nivel de la lámina de agua contemplados en el Estudio Hidráulico de la apertura del Canal de Deusto. Modificado de Saitec.

Según este estudio, se prevé, para una avenida con un caudal de 2510 m³/s, disminuir el nivel de la lámina de agua en la sección actual de 0.35 a 0.75 m, y en la nueva sección de 0.55 a 0.95 m. Esto supondría una reducción del área inundada, pero no evitaría la misma.

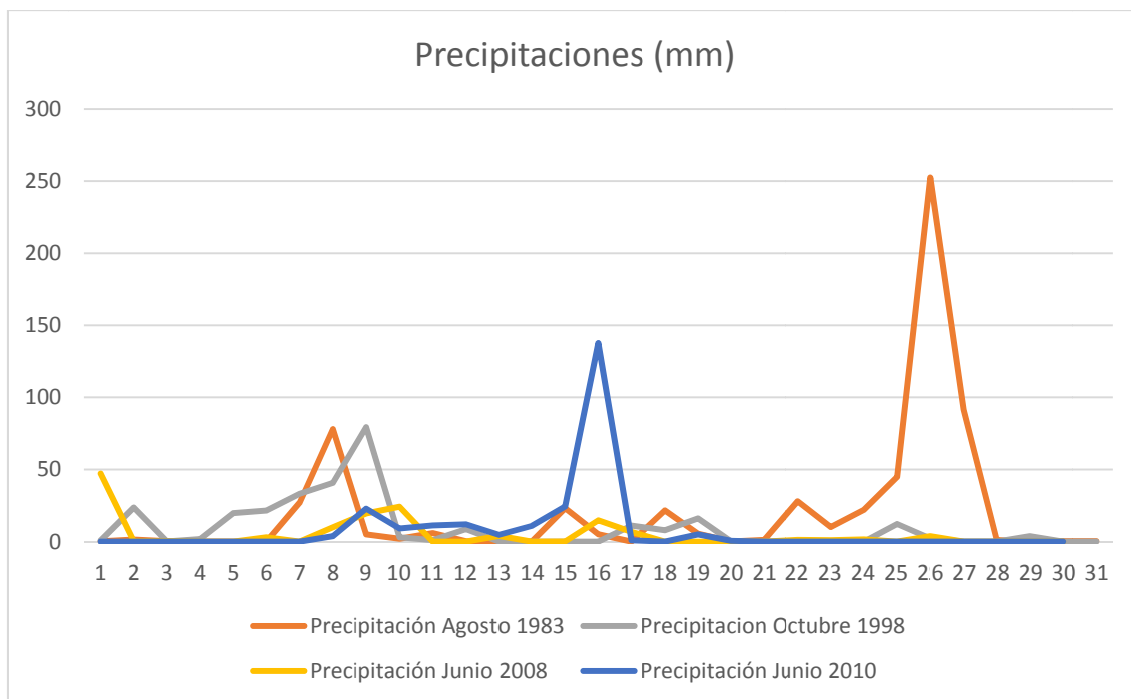
5.2.2.2 Análisis del riesgo por avenidas

En este análisis se han tenido en cuenta las avenidas que se han producido en el área de Bilbao en los últimos 35 años y del cual se han podido obtener los datos tanto del registro pluviométrico, de caudales y la altura de la lámina de agua. La comparativa finalmente se ha llevado a cabo con las avenidas de 26 de Agosto de 1983, por ser la de mayor afectación del área urbana, y las de 9 de Octubre de 1998, 1 de Junio de 2008 y 16 de Junio de 2010.

Los datos correspondientes a la inundación del 26 de Agosto de 1983, se han obtenido a partir de las redes de seguimiento del Ministerio de Agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente (*Mapama*) (tabla 1). Estos datos, obtenidos de la estación 1158 correspondiente a Etxebarri, sin embargo, se encuentran incompletos, no llegando a registrar los mismos desde el día 26 de Agosto hasta el día 1 de Septiembre, por lo que se han tomado datos publicados en distintos trabajos, tanto del nivel de la lámina de agua como del caudal. Los datos de precipitaciones se han obtenido a partir del software “*Opendata*” de la Agencia Estatal de Meteorología (*Aemet*) en la estación meteorológica con indicativo 1082 correspondiente a *Bilbao Aeropuerto*. Según estas fuentes, la precipitación máxima fue de 252 mm, sin embargo, otras fuentes de información señalan una precipitación superior a los 503 mm de lluvia por metro cuadrado en 24 horas.

Los datos correspondientes a las crecidas del 9 de Octubre de 1998, 1 de Junio de 2008 y 16 de Junio de 2010 se han obtenido a partir del software “*Anuario de aforos*” de la Diputación Foral de Bizkaia (DFB) (Anexo III, Tablas 2, 3, 4, 5). Estos datos se han obtenido en la estación NB05 en Abusu (La Peña).

En la gráfica 1, se representan los datos de precipitación correspondientes a las crecidas, siendo la de mayor entidad la de agosto de 1983, que registró 252 mm, aunque en diferentes publicaciones se afirma que llegaron a registrarse hasta precipitaciones del orden de 503 mm. En las otras tres inundaciones se registraron entre 75 y 150 mm de precipitación.



Gráfica 1. Datos de precipitación registrados en las inundaciones de Agosto de 1983, Octubre de 1998, Junio de 2008 y Junio de 2010. Fuente Aemet y Diputación Foral de Bizkaia.

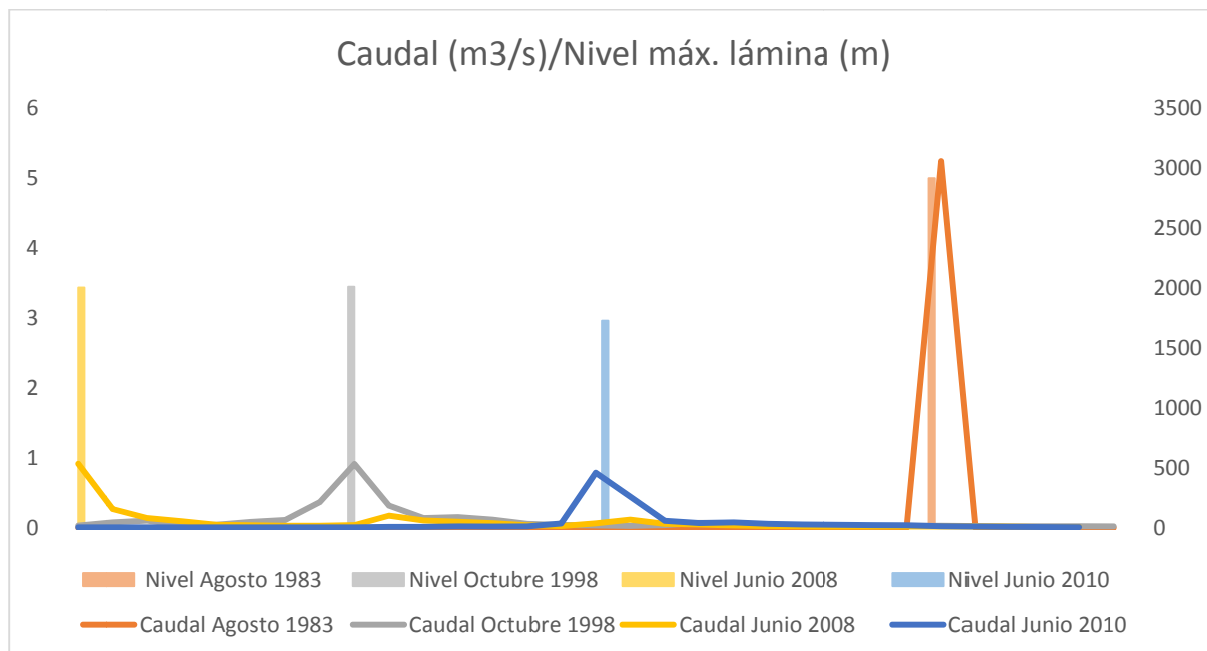
Se ha realizado una comparativa entre los datos de caudal y nivel máximo de la lámina de agua para las mismas inundaciones por avenida, obteniéndose que la de mayor entidad fue la ocurrida en Agosto de 1983, siendo las otras tres menores.

En la avenida extraordinaria de Agosto de 1983, se alcanzaron niveles de hasta 5 metros de altura, registrados en el Casco Viejo, mientras que tanto en Octubre de 1998 y Junio de 2008 y 2010 no llegaron a alcanzar los 4 metros de altura. En las dos últimas inundaciones, las zonas afectadas fueron principalmente las riberas del Casco Viejo y Deusto, a la altura de la curva de Elorrieta.



Fotografía 4. Desbordamiento de la ría del Nervión el 26 de Agosto de 1983 a su paso por el Mercado de la Ribera (Casco Viejo). Tomada de Periódico "El Correo".

Asimismo, se observa que los caudales de las últimas inundaciones, del orden de $500 \text{ m}^3/\text{s}$, no superan la quinta parte de los registrados en las avenidas de Agosto de 1983, siendo éstos del orden de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gráfica 2. Comparativa referente a datos de caudal y altura máxima de la lámina de agua en las inundaciones de Agosto de 1983, Octubre de 1998, Junio de 2008 y Junio de 2010. Fuente MAPAMA y Diputación Foral de Bizkaia.

De esta gráfica se extrae que, para últimas inundaciones, los caudales son similares, sin embargo, el nivel máximo alcanzado por la lámina de agua es menor en Junio de 2010, de lo que se deduce que tanto las obras de escalonado en el meandro de La Peña, como los continuos trabajos de dragado de la ría suponen una mejora en cuanto a avenidas de esta magnitud.

Comparando los datos de estas avenidas con los datos extraídos del “Estudio hidráulico de la apertura del Canal de Deusto” (Tabla 1), se concluye que para las avenidas de magnitud igual a las de Octubre de 1998, Junio de 2008 y Junio de 2010, no se producirían inundaciones en el tramo entre Olabeaga y la confluencia con el río Cadagua, siendo efectiva la modificación de la morfología del canal, sin embargo en la zona del Casco Viejo probablemente seguirían produciéndose avenidas.

Sin embargo, en el caso de producirse una avenida con iguales características que la de Agosto de 1983, la zona del Casco Viejo seguiría siendo la zona con mayor afección y el tramo antes citado se vería afectado aunque en menor medida que en avenidas anteriores.

5. CONCLUSIONS

The estuary of Nervion has suffered drastic changes in the last 300 years mainly due the human impacts on its path and depth and overall the building of important infrastructures. The most remarkable change comes out from it behavior, changing from an original estuarine environment, with tide bars and spits and a low draft, with fluvial processes along the river course to a clear estuarine environment where tidal input go up along 21 km from the mouth of the estuary.

The main acting processes into the study area are controlled by structural, fluvial and coastal factors. This way, two main kinds of risks have been identified, mass movements and flood risks. Being this last the most important in the area and which has reported more damages.

Modern urban planning design has promoted the tidal flat occupation giving place to rising risks situations during tidal rise events. If a strong rainfall event, with high amounts of rainfall and high duration, occurs at the same time that a high tide, the base level elevation will increase the flooded area in an important way increasing dramatically the risk.

The most catastrophic flood over the last 35 years happened on August 1983, when the water level reached approximately 5 meters above sea level. Since then, infrastructures have been built along the river channel in order to reduce the impacts of flood events. The most effective construction has been the adequacy of the meander in La Peña.

In the near future, the Deusto channel is going to become fully working and will be a big aid in flood mitigation as it will aid to decrease water level between 0.35 and 0.95 meters, and has been designed to absorb a 2510 m³ discharge.

Although the opening of Deusto channel is going to decrease the impacts of the flood events, if a flood like the one in August 1983 will happen again, the estuary would overflow, especially in the old town area.

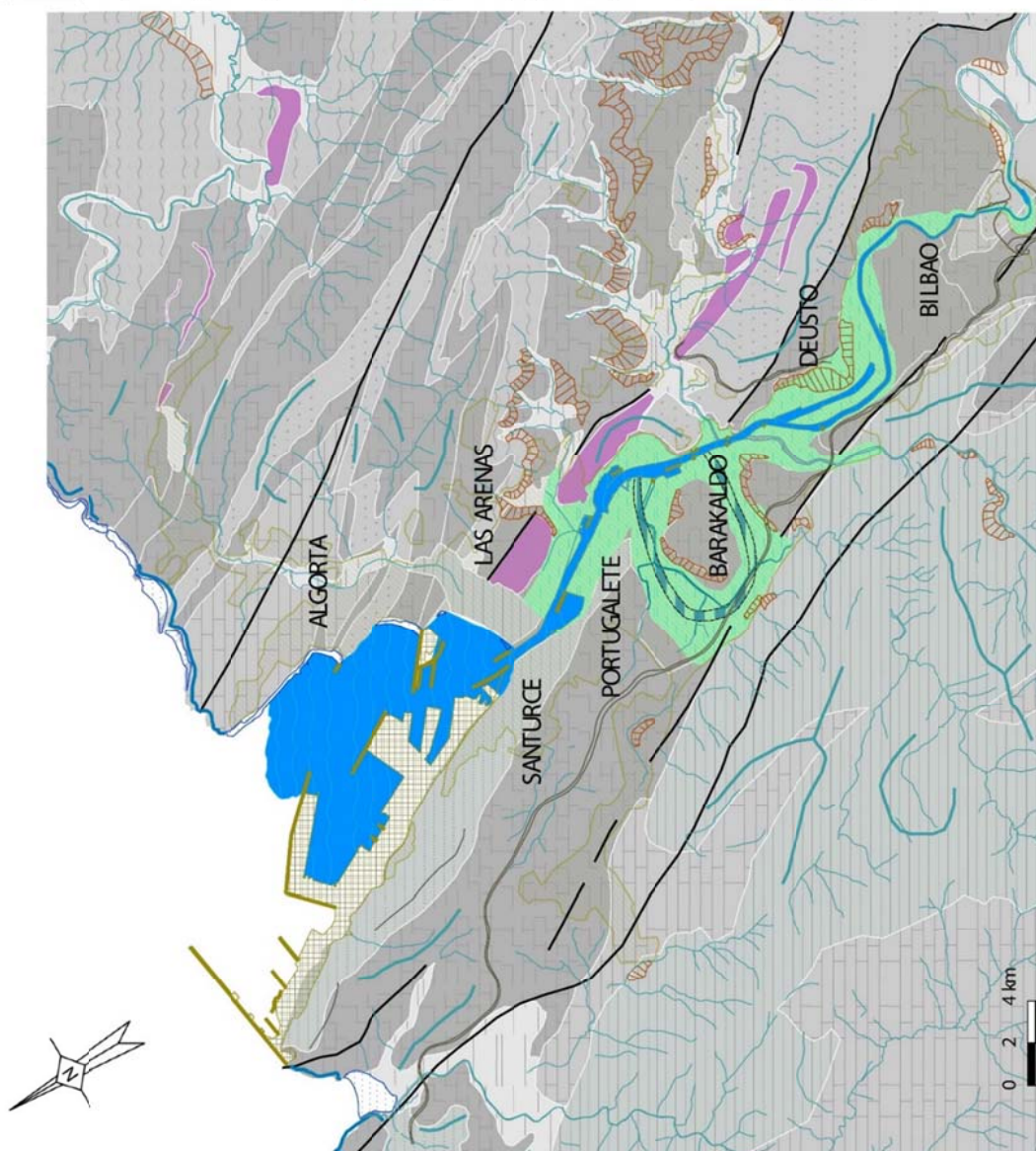
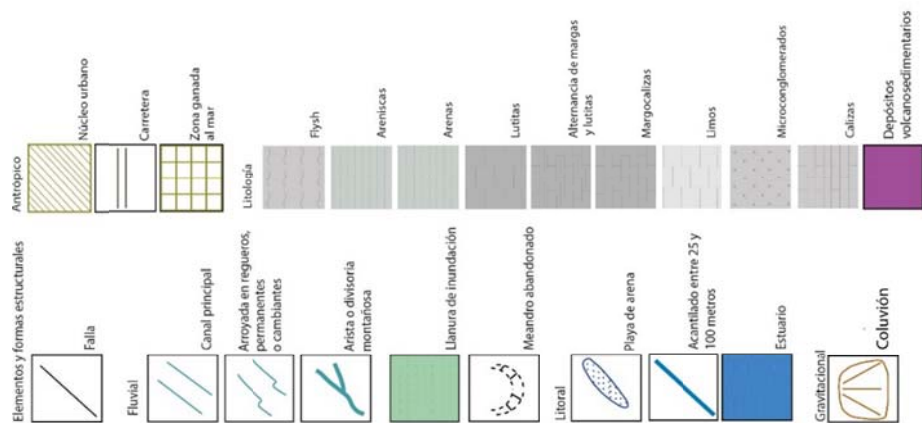
6. BIBLIOGRAFÍA

- Aranguren, A., Cuevas, J., Eguiluz, L., Tubia, J.M. (1990): Estructura geológica en el borde oriental del Anticlinorio de Bilbao. *Geogaceta*, 7, 68-70.
- Basas, M. (1983): La larga serie de las inundaciones bilbaínas. *Información. Revista Económica del País Vasco*, 1388: 25-27.
- Capel, J.J. (1983): El clima de la España Cantábrica. Las inundaciones de agosto de 1983 en el País Vasco, Cantabria y Navarra Atlántica. *La Crónica, Almería*.
- Cearreta, A. (1992): Cambios medioambientales en la Ría de Bilbao durante el Holoceno. *Cuadernos de Sección Historia*, 20: 435-454.
- Cuevas, J., Aranguren, A., Badillo, J. M., & Tubía, J. M. (1999): Estudio estructural del sector central del Arco Vasco (cuenca vasco-cantábrica). *Boletín Geológico y Minero*, 110(1), 3-18.
- Fernández, J.M. (1993): Inundaciones en el País Vasco. *Obras Públicas*, 26: 26-35.
- Feuillee, P., Rat, P. 1971: *Structures et paléogéographies Pyrénéo-Cantabriques. Histoire Structurale du Golfe de Gascogne Vol. 1*. Editions Technip. Paris, 1-48.
- Galdos Tobalina, A. (2007): *Estudio hidráulico para la apertura del Canal de Deusto*. Informe Saitec. 24 p.
- García-Mondéjar, J. (1982): Aptiense y Albiense. *El Cretácico de España*, 63-84.
- García-Mondéjar, J., García-Pascual, I. (1982): Estudio geológico del anticlinorio de Bilbao entre los ríos Nervión y Cadagua. *Kobie*, 12: 101-137.
- García-Mondéjar, J., Agirrezabala, L. M., Aranburu, A., Fernández-Mendiola, P. A., Gómez-Pérez, I., López-Horgue, M., & Rosales, I. (1996): Aptian—Albian tectonic pattern of the Basque—Cantabrian Basin (Northern Spain). *Geological Journal*, 31(1), 13-45.
- Ibáñez González de Matauco, A., Ollero Ojeda, A., & Ormaetxea Arenaza, O. (2000): Las inundaciones en la vertiente cantábrica del País Vasco en los últimos veinte años: principales eventos, consecuencias territoriales y sistemas de prevención. *Serie Geográfica*, 9: 177-186.
- Leorri, E. S., Cearreta, A. (2009): *El registro geológico de la transformación ambiental de la ría de Bilbao durante el Holoceno y el Antropoceno*. Sociedad de ciencias aranzadi zientzi elkarte San Sebastian, España.:170 p.
- Martín Serrano, Á., Salazar, Á., Nozal, F., Suárez, Á. (2004): *Mapa Geomorfológico de España 1:50000 Guía para su elaboración*, IGME, Madrid. 128 p.
- Olcina, J. (1994). Riesgos climáticos en la Península Ibérica. *Libros Penthalon*, Madrid, 440 p.

- Ortiz Ramos, A., Perconig, E., Esnaola, J.M., Moreno de Castro, E., Pan Arana, T., Martín García, L., Febrel, T., Argüelles, A., Heras, A. (1975): *Mapa Geológico de España 1:50000, hoja nº61 (Bilbao) y memoria*, IGME, Madrid. 35 p.
- Prieto, C., Lamas, J.L (1985): Avenidas extraordinarias en el País Vasco. *Geología y prevención de daños por inundaciones*. IGME: 247-334.
- Prieto, C., Lamas, J. L. (1985): Avenidas extraordinarias en el País Vasco. *Geología y prevención de daños por inundaciones*. IGME: 247-334.
- Pritchard, D.W. (1967): What is an estuary: physical viewpoint. *American Association for the Advancement of Science, Vol 83*: 3-5.
- Rat, P. (1959): "Les pays crétacés basco-cantabriques (Espagne)". *Pub. Univ. Dijon, vol. XVIII*, 525 pp.
- Vera, J. A. (Ed.). (2004). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

ANEXOS

ANEXO I



ANEXO I. Mapa geomorfológico de la zona estudiada.

ANEXO II



ANEXO II. Riesgo de deslizamientos a ambos márgenes de la ría. Rodeados en rojo, las unidades susceptibles.

ANEXO III

Datos de caudal medio diario (m ³ /s), altura media diaria (m) y precipitación (mm) . Agosto 1983						
Estación	Año	Día	Caudal Agosto (m ³ /s)	Nivel Agosto (m)	Indicativo	Precipitación (mm)
1158	1982-1983	1	4,72	0,12	1082	0.2
1158	1982-1983	2	4,72	0,12	1082	1.4
1158	1982-1983	3	4,26	0,11	1082	0.3
1158	1982-1983	4	4,26	0,11	1082	0
1158	1982-1983	5	3,80	0,10	1082	0
1158	1982-1983	6	3,80	0,10	1082	0
1158	1982-1983	7	3,80	0,10	1082	27
1158	1982-1983	8	12,12	0,24	1082	78
1158	1982-1983	9	68,99	0,61	1082	4.9
1158	1982-1983	10	27,94	0,38	1082	2
1158	1982-1983	11	10,26	0,22	1082	5.8
1158	1982-1983	12	7,48	0,18	1082	0.2
1158	1982-1983	13	6,56	0,16	1082	0
1158	1982-1983	14	5,64	0,14	1082	0
1158	1982-1983	15	5,64	0,14	1082	23.1
1158	1982-1983	16	7,02	0,17	1082	5.1
1158	1982-1983	17	8,40	0,20	1082	0
1158	1982-1983	18	7,02	0,17	1082	21.6
1158	1982-1983	19	6,56	0,16	1082	5.4
1158	1982-1983	20	6,10	0,15	1082	0.1
1158	1982-1983	21	6,56	0,16	1082	1.2
1158	1982-1983	22	6,10	0,15	1082	27.9
1158	1982-1983	23	13,98	0,26	1082	10
1158	1982-1983	24	21,54	0,33	1082	22
1158	1982-1983	25	73,96	0,63	1082	44.8
1158	1982-1983	26	3059	5	1082	252.6
1158	1982-1983	27	-	-	1082	91.6
1158	1982-1983	28	-	-	1082	1.1
1158	1982-1983	29	-	-	1082	0
1158	1982-1983	30	-	-	1082	0.3
1158	1982-1983	31	-	-	1082	0.3

Tabla 2. Datos obtenidos del Mapama (caudal y nivel medio diario) y del software Opendaa de Aemet (precipitación). Los datos marcados en rojo han sido obtenidos de trabajos anteriores.

Datos de caudal medio diario (m ³ /s), altura media diaria (m) y precipitación (mm) . Octubre 1998						
Estación	Año	Día	Caudal Octubre (m ³ /s)	Nivel Octubre (m)	Precipitación (mm)	
NB05	1998-1999	1	17.676	0.497	0.7	0.7
NB05	1998-1999	2	45.495	0.764	23.6	23.6
NB05	1998-1999	3	59.933	0.997	0.1	0.1
NB05	1998-1999	4	20.5	0.544	1.7	1.7
NB05	1998-1999	5	25.134	0.616	19.7	19.7
NB05	1998-1999	6	49.234	0.919	21.5	21.5
NB05	1998-1999	7	64.452	1.039	33.1	33.1
NB05	1998-1999	8	215.209	2.063	40.7	40.7
NB05	1998-1999	9	532.043	3.449	79.3	79.3
NB05	1998-1999	10	184.704	1.862	3	3
NB05	1998-1999	11	81.422	1.206	1	1
NB05	1998-1999	12	88.491	1.252	8.6	8.6
NB05	1998-1999	13	67.089	1.086	0	0
NB05	1998-1999	14	32.499	0.734	0	0
NB05	1998-1999	15	24.161	0.599	0	0
NB05	1998-1999	16	19.473	0.529	0	0
NB05	1998-1999	17	15.614	0.467	11.1	11.1
NB05	1998-1999	18	21.79	0.564	7.8	7.8
NB05	1998-1999	19	40.861	0.79	16.1	16.1
NB05	1998-1999	20	39.445	0.823	0.1	0.1
NB05	1998-1999	21	25.591	0.621	0	0
NB05	1998-1999	22	19.719	0.532	0	0
NB05	1998-1999	23	16.302	0.476	0	0
NB05	1998-1999	24	13.405	0.427	0	0
NB05	1998-1999	25	15.851	0.469	12.2	12.2
NB05	1998-1999	26	16.44	0.481	2.2	2.2
NB05	1998-1999	27	14.805	0.453	0	0
NB05	1998-1999	28	13.372	0.425	0	0
NB05	1998-1999	29	12.888	0.416	3.7	3.7
NB05	1998-1999	30	12.644	0.409	0	0
NB05	1998-1999	31	11.241	0.38	0	0

Tabla 3. Datos obtenidos del software Anuario de afotos de la DFB

Datos de caudal medio diario (m ³ /s), altura media diaria (m) y precipitación (mm) . Junio 2008						
Estación	Año	Día	Caudal Junio (m ³ /s)	Nivel Junio (m)	Precipitación (mm)	
NB05	2007-2008	1	534.024	3.436	47.1	
NB05	2007-2008	2	155.223	1.704	0.2	
NB05	2007-2008	3	81.203	1.211	0.2	
NB05	2007-2008	4	54.334	0.968	0	
NB05	2007-2008	5	25.1	0.613	0	
NB05	2007-2008	6	21.325	0.557	3	
NB05	2007-2008	7	16.878	0.488	0	
NB05	2007-2008	8	16.341	0.479	9.8	
NB05	2007-2008	9	22.862	0.579	19.5	
NB05	2007-2008	10	101.107	1.308	24.1	
NB05	2007-2008	11	60.943	1.04	0	
NB05	2007-2008	12	50.033	0.944	0	
NB05	2007-2008	13	38.929	0.817	3.9	
NB05	2007-2008	14	21.16	0.554	0	
NB05	2007-2008	15	14.51	0.449	0.1	
NB05	2007-2008	16	36.289	0.673	14.7	
NB05	2007-2008	17	67.943	1.097	6.7	
NB05	2007-2008	18	32.326	0.732	0	
NB05	2007-2008	19	27.048	0.644	0	
NB05	2007-2008	20	18.948	0.518	0	
NB05	2007-2008	21	12.759	0.417	0	
NB05	2007-2008	22	11.177	0.386	1.2	
NB05	2007-2008	23	10.186	0.365	0.9	
NB05	2007-2008	24	9.957	0.36	1.5	
NB05	2007-2008	25	10.836	0.375	0	
NB05	2007-2008	26	11.172	0.379	3.7	
NB05	2007-2008	27	10.41	0.367	0	
NB05	2007-2008	28	6.916	0.281	0	
NB05	2007-2008	29	6.208	0.259	0	
NB05	2007-2008	30	5.982	0.251	0	
NB05	2007-2008	31				

Tabla 4. Datos obtenidos del software Anuario de afotos de la DFB

Datos de caudal medio diario (m ³ /s), altura media diaria (m) y precipitación (mm) . Junio 2010						
Estación	Año	Día	Caudal Junio (m ³ /s)	Nivel Junio (m)	Precipitación (mm)	
NB05	2009-2010	1	4.047	0.174	0	
NB05	2009-2010	2	3.892	0.166	0	
NB05	2009-2010	3	3.732	0.159	0	
NB05	2009-2010	4	3.544	0.148	0	
NB05	2009-2010	5	3.515	0.148	0	
NB05	2009-2010	6	3.515	0.148	0	
NB05	2009-2010	7	3.521	0.148	0	
NB05	2009-2010	8	3.568	0.151	3.7	
NB05	2009-2010	9	3.961	0.169	22.8	
NB05	2009-2010	10	7.121	0.286	9	
NB05	2009-2010	11	7.332	0.291	11.2	
NB05	2009-2010	12	11.967	0.401	11.9	
NB05	2009-2010	13	10.157	0.363	4.6	
NB05	2009-2010	14	10.983	0.377	10.8	
NB05	2009-2010	15	35.201	0.743	24.3	
NB05	2009-2010	16	458.392	2.962	137.7	
NB05	2009-2010	17	259.861	2.183	0.8	
NB05	2009-2010	18	57.951	1.012	0	
NB05	2009-2010	19	39.943	0.845	4.9	
NB05	2009-2010	20	44.457	0.89	0.5	
NB05	2009-2010	21	32.972	0.741	0	
NB05	2009-2010	22	27.997	0.656	0	
NB05	2009-2010	23	24.703	0.607	0	
NB05	2009-2010	24	22.882	0.58	0	
NB05	2009-2010	25	21.028	0.552	0	
NB05	2009-2010	26	12.983	0.414	0.1	
NB05	2009-2010	27	10.837	0.378	0	
NB05	2009-2010	28	7.82	0.307	0	
NB05	2009-2010	29	6.193	0.258	0	
NB05	2009-2010	30	5.547	0.236	0	
NB05	2009-2010	31				

Tabla 5. Datos obtenidos del software Anuario de afotos de la DFB