



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

ANÁLISIS DE LA PLAYA HELIÓPOLIS (TM BENICASIM,
CASTELLÓN): POSIBLES ACTUACIONES DE MEJORA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

AUTOR/A: Ferrando Barragan, Laura

Tutor/a: González Escrivá, José Alberto

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN.

La playa Heliópolis enfrenta varios problemas debido a las obras de defensa y regeneración costera realizadas entre los años 70 y el 2000. Estas intervenciones resultaron en la pérdida de arena y la disminución de la anchura de la playa seca en las playas del sector sur del municipio. Este estudio tiene un doble propósito: primero, caracterizar la playa Heliópolis para analizar su situación actual; y segundo, proponer acciones para mejorar su estado.

Para ello, se llevarán a cabo una serie de estudios previos incluyendo un estudio de la dinámica litoral conforme al Reglamento de Costas y un análisis del efecto del cambio climático en el municipio. Además, para la elección de la propuesta óptima se considerarán los posibles impactos ambientales y su compatibilidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Al final, se buscará identificar la alternativa más adecuada para restaurar y proteger la playa Heliópolis que cumpla con los criterios de viabilidad funcional, ambiental y estética preestablecidos, asegurando su sostenibilidad y su integración armoniosa en el entorno natural del municipio.

PALABRAS CLAVE.

Dinámica litoral, cambio climático, impactos ambientales, sostenibilidad.

ABSTRACT.

Heliópolis beach faces several problems due to the coastal defence and regeneration works carried out between the 1970s and 2000. These interventions resulted in the loss of sand and a decrease in the width of the dry beach in the southern sector of the municipality. The purpose of this study is twofold: first, to characterise Heliópolis beach in order to analyse its current situation; and second, to propose actions to improve its condition.

To this end, a series of preliminary studies will be carried out, including a study of coastal dynamics in accordance with the Coastal Regulation and an analysis of the effect of climate change on the municipality. In addition, the choice of the optimal proposal will consider the potential environmental impacts and its compatibility with the Sustainable Development Goals (SDGs). In the end, the most suitable alternative to restore and protect Heliópolis beach that meets the pre-established criteria of functional, environmental and aesthetic viability will be identified, ensuring its sustainability and harmonious integration into the natural environment of the municipality.

KEYWORDS.

Coastal dynamics, climate change, environmental impacts, sustainability.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.1. OBJETO DEL ESTUDIO.	4
1.2. ANTECEDENTES.	4
1.3 SITUACIÓN ACTUAL.	5
1.4. METODOLOGÍA.	5
2. INVENTARIO AMBIENTAL.	7
2.1. FLORA Y VEGETACIÓN.	7
2.2. FAUNA.	10
2.3. CONTEXTO Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA.	11
2.4. CAMBIO CLIMÁTICO.	12
3. ESTUDIOS PREVIOS.	14
3.1. USOS DEL SUELO Y DPMT.	14
3.2. INUNDABILIDAD.	16
3.3. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL.	17
4. DIAGNÓSTICO.	18
5. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LA PROPUESTA ÓPTIMA.	19
• Eficacia funcional.	19
• Sostenibilidad ambiental.	19
• Armonía estética.	20
6. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN.	20
6.1. SEGUIR CON LOS APORTES DE ARENA.	20
6.2. COLOCACIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES EN LOS TRAMOS 4 Y 5 COMBINADOS CON ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL CON ARENA.	22
6.3. CAMBIO EN LA FORMA DE LOS ESPIGONES DE LOS TRAMOS 1, 2 Y 3 EN FORMA DE L Y COLOCACIÓN DE UN ARRECIFE EN EL TRAMO 3, COMBINADOS CON ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL DE ARENA.	23
7. DESARROLLO DE LA PROPUESTA ÓPTIMA.	26
• Determinación del volumen de arena necesario para llevar a cabo la propuesta óptima.	28
8. PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.	29
• Monitoreo de la biodiversidad marina.	29
• Control de la calidad del agua.	30
• Evaluación de la erosión costera.	30
• Evaluación de la eficacia de las medidas.	31
9. CONCLUSIÓN.	31
10. RELACIÓN CON LOS ODS DE LA AGENDA 2030.	33

11. BIBLIOGRAFÍA..... 33

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. OBJETO DEL ESTUDIO.

La franja costera del municipio de Benicàssim ha experimentado una significativa transformación impulsada por el sector turístico, provocando una alteración tanto de sus usos como de su paisaje. Como consecuencia, y según los autores *Cerdán & Ginés (2023)*, la anchura de la playa en los tramos más meridionales de la zona del Heliópolis se ha reducido.

La finalidad de este trabajo es la caracterización de la Playa Heliópolis (TM Benicasim, Castellón) para poder llevar a cabo el análisis de su situación actual y proponer acciones para la mejora de su estado. Estas acciones buscan garantizar un entorno saludable que beneficie a los residentes y turistas (ODS 3), equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental (ODS 8), e integrar la playa en una planificación urbana que promueva comunidades sostenibles y resilientes (ODS 11). Además, se pretende preservar la calidad del agua mediante prácticas sostenibles y gestión adecuada de los recursos hídricos (ODS 6), proteger y restaurar los ecosistemas marinos para asegurar la vida submarina (ODS 14) y conservar los ecosistemas terrestres adyacentes, protegiendo la flora y fauna local (ODS 15).

1.2. ANTECEDENTES.

A finales del siglo XIX, el término municipal de Benicasim experimentó un importante desarrollo como destino turístico en la costa mediterránea, atrayendo a numerosas familias que buscaban disfrutar de sus playas y clima. Según los autores *Cerdán & Ginés (2023)* este período marcó el inicio de la transformación de Benicàssim de un entorno principalmente agrario a un destino turístico en crecimiento, sentando las bases para su evolución urbana y turística en las décadas siguientes.

El turismo se concentró sobre todo en las playas del norte hasta la década de 1960. Este auge trajo consigo la construcción de apartamentos y casas a lo largo de toda la costa.

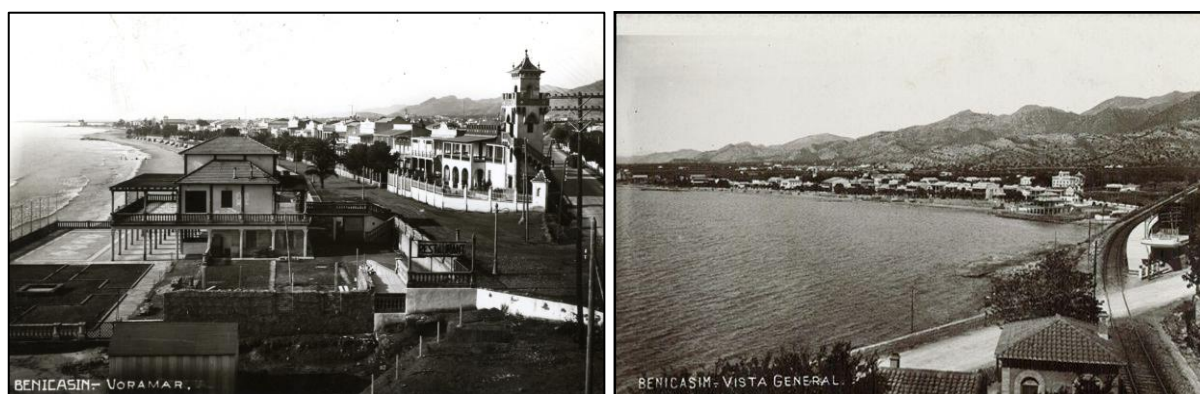


Figura 1. Vista del hotel Voramar en 1930 (izquierda) y vista general de la costa de Benicasim en 1940 (derecha). Fuente: Repositorio Universitat Jaume I.

A partir de la década de 1970, y con el objetivo de ampliar la superficie de arena para satisfacer la demanda turística, se iniciaron obras de defensa y regeneración del litoral. Las primeras zonas en ser modificadas fueron las del norte, donde la anchura de la playa seca era escasa. En las siguientes décadas, las obras continuaron a lo largo de todo del litoral benicense hasta los años 2000, transformando por completo el paisaje costero del término municipal (*Cerdán & Ginés, 2023*).

1.3 SITUACIÓN ACTUAL.

El litoral benicense se divide en dos zonas: Zona norte o las Villas, dividida en 3 playas: Voramar, Almadraba, y Torre de Sant Vicent. Y por otra parte la Zona sur, dividida en las playas de Els Terrers y la playa del Heliópolis.



Figura 2. Playas de la Zona norte (izquierda) y de la Zona sur (derecha). Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.

La playa Heliópolis se encuentra en la zona más al sur del litoral benicense, lindando al norte con la playa de Els Terrers y al sur con el municipio de Castellón. Ostenta una longitud de 2.750 metros, lo que la convierte en la más extensa del municipio. Sin embargo, y como se ha mencionado anteriormente, presenta una serie de problemas derivados de las actuaciones destinadas a la mejora del litoral realizadas durante los años 70. Como consecuencia se han estado haciendo aportes de arena para aumentar la anchura de la playa seca en algunos tramos, el último aporte conocido fue en el año 2023, el Ayuntamiento de Benicasim distribuyó 15.000 m³ de arena en la zona sur del municipio (*Ayuntamiento de Benicasim, 2023*).

Actualmente, el litoral de Benicàssim se caracteriza por una intensa urbanización a lo largo de toda su extensión, además la costa está considerada como una sucesión continua de playas separadas por obras de defensa, que han modificado el perfil litoral y el entorno natural de la zona (*Cerdán & Ginés, 2023*). Las numerosas obras de regeneración y defensa costera para ampliar la superficie de playa mencionadas anteriormente han dado lugar a una transformación significativa del paisaje costero, causando una serie de problemas como la insuficiencia de anchura de la playa seca en algunos tramos y la inestabilidad de estos.

1.4. METODOLOGÍA.

La presente metodología describe el proceso que se seguirá para la elaboración de este estudio. Esta estructura metodológica garantiza que el estudio se realice de manera sistemática y coherente, facilitando la obtención de resultados precisos y fiables.

METODOLOGÍA

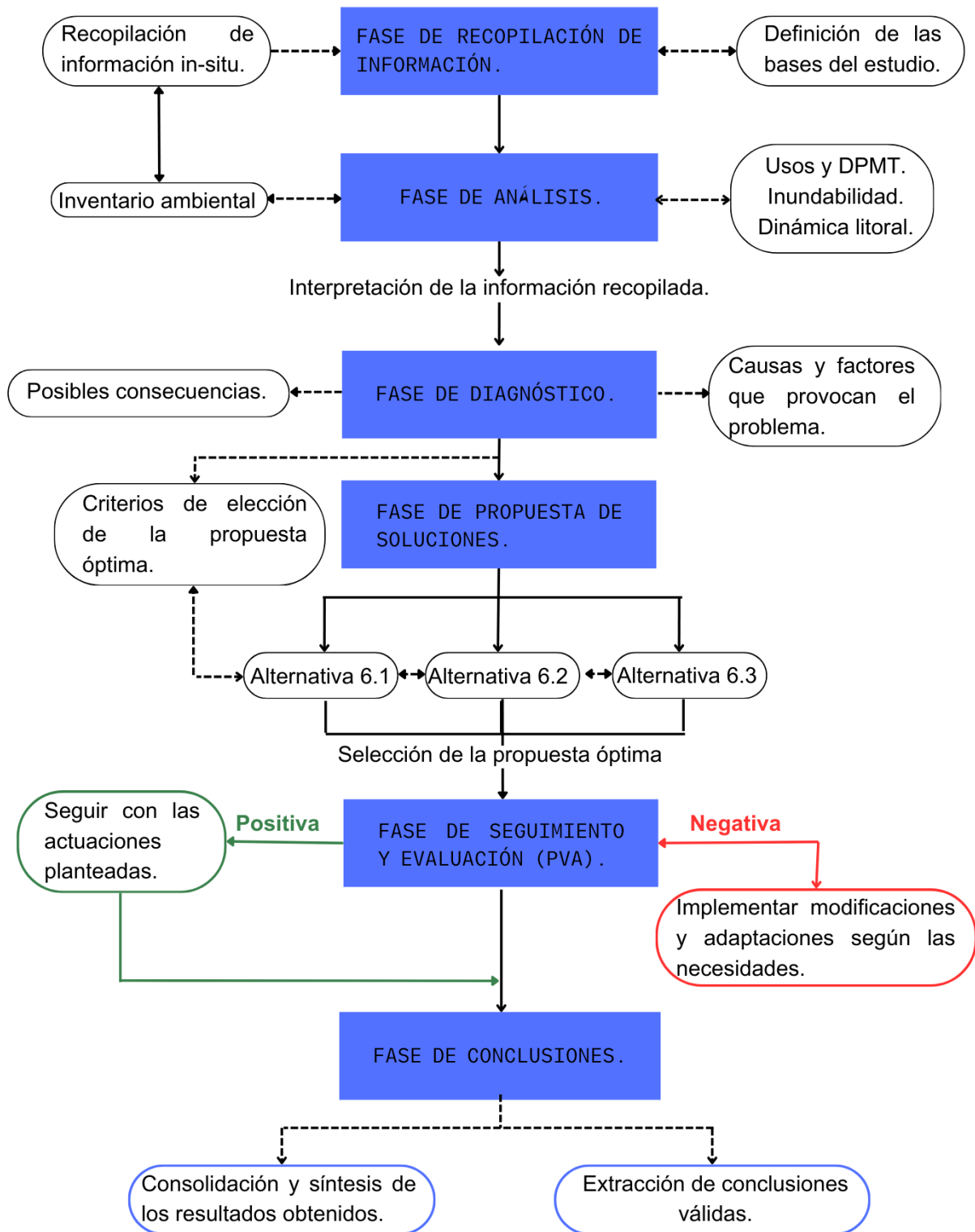


Figura 3. Esquema de la metodología que se va a seguir para la elaboración del estudio.
Nota: Elaboración propia.

2. INVENTARIO AMBIENTAL.

En este apartado se pretende inventariar la flora y vegetación, fauna, clasificación climática, y efectos del cambio climático en la zona de estudio, con el fin de identificar las condiciones ambientales presentes y establecer una base sólida para las futuras decisiones de gestión y conservación de la playa Heliópolis. Este inventario ambiental se ha realizado mediante la visita a la playa, en la fecha del 3 de marzo del año 2024.

Para facilitar el análisis de los componentes de la playa se ha optado por su división en un total de 6 unidades morfológicas, separadas entre ellas por espigones.

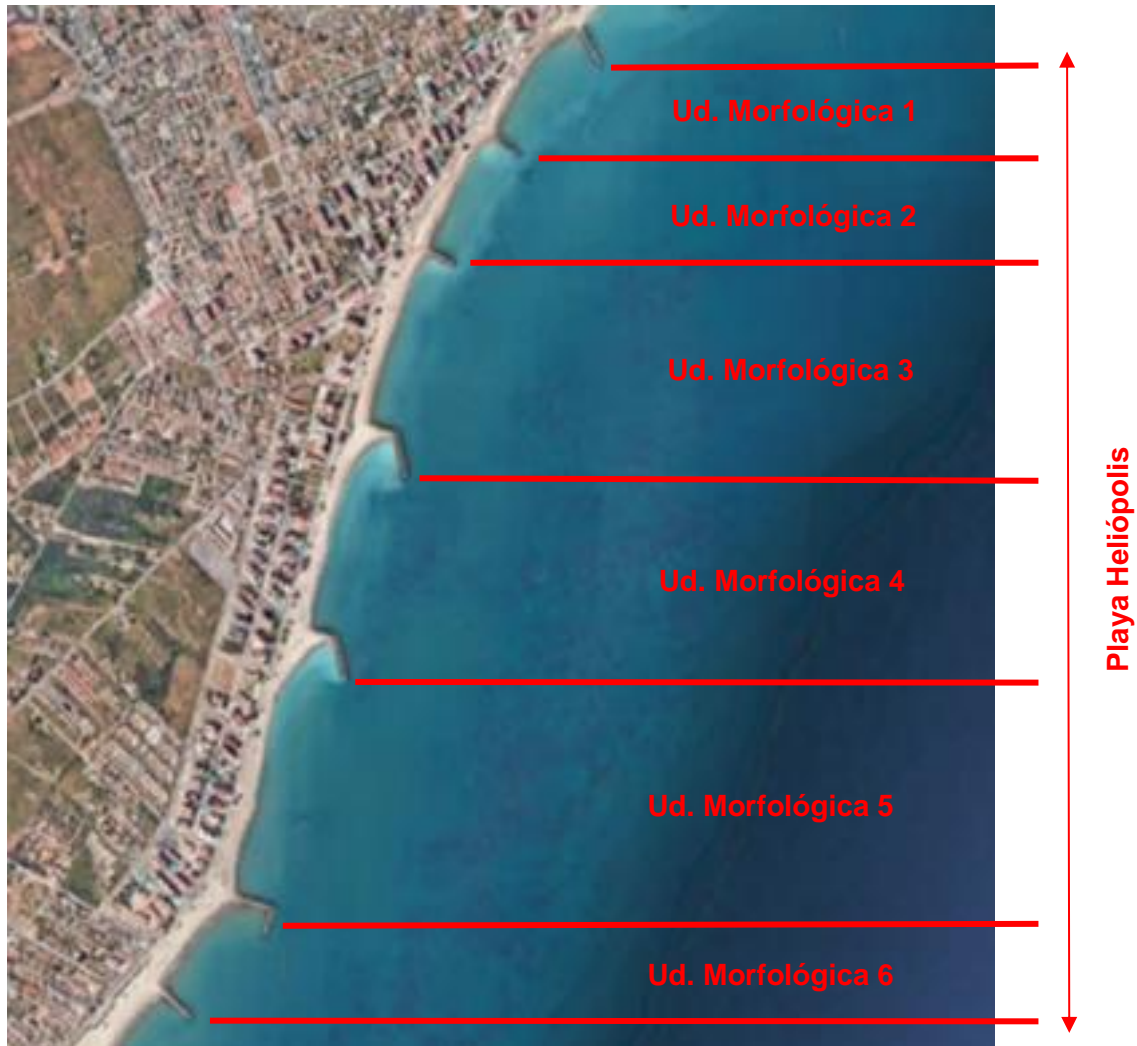


Figura 4. División de la playa Heliópolis en unidades morfológicas (1, 2, 3, 4, 5, 6). Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.

Esta división nos facilitará el análisis e interpretación de los datos obtenidos a continuación.

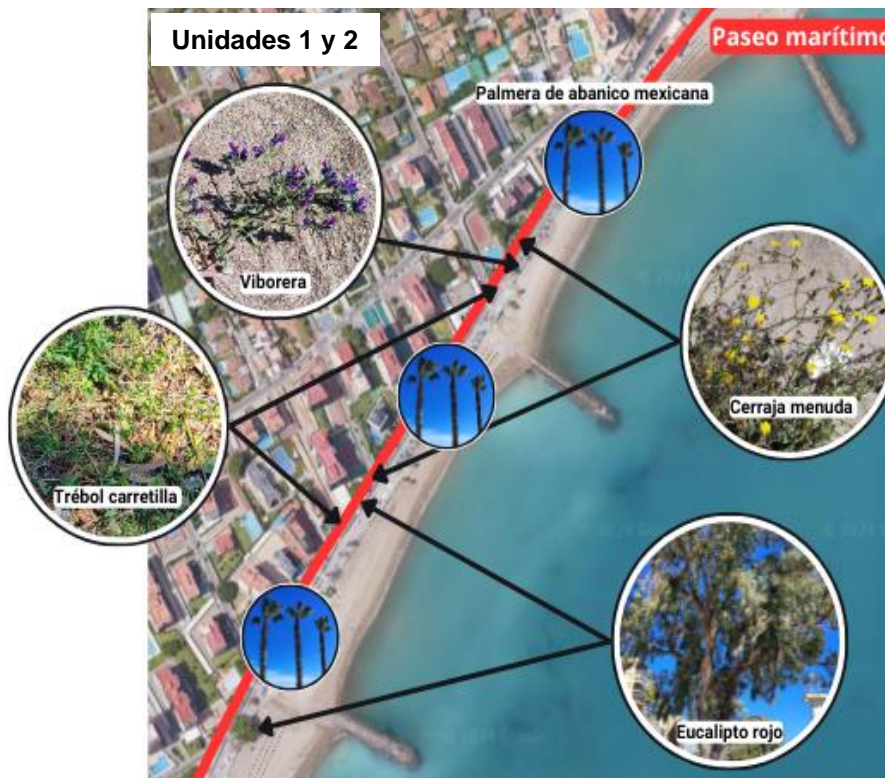
2.1. FLORA Y VEGETACIÓN.

La playa Heliópolis presenta una diversidad de flora adaptada al entorno marino y costero. A continuación, se detalla un inventario de las principales especies vegetales observadas en esta zona.

Tabla 1. Especies vegetales observadas en la playa. Nota: El nombre de las especies vegetales más abundantes está resaltado en amarillo.

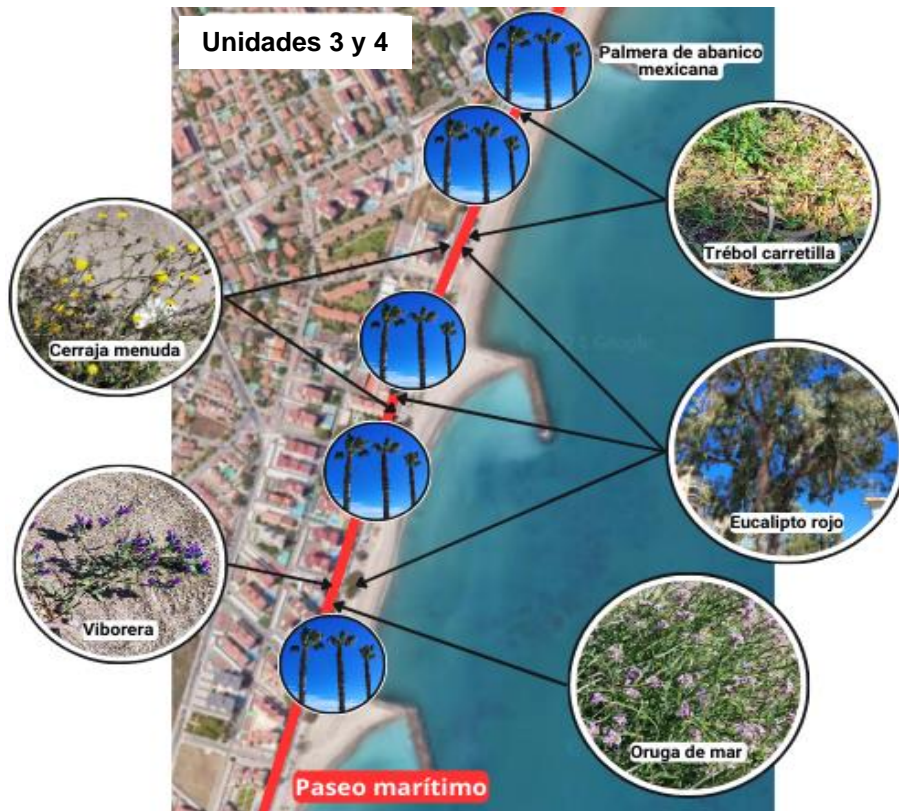
Nombre común	Nombre científico
Cerraja menuda	<i>Sonchus tenerrimus</i>
Oruga de mar	<i>Cakile meritima</i>
Palmera de abanico mexicana	<i>Washingtonia robusta</i>
Trébol carretilla	<i>Medicago polymorpha</i>
Viborera	<i>Echium plantagineum</i>
Cenizo común	<i>Chenopodium murale</i>
Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
Falsa alcaparra	<i>Euphorbia terracina</i>
Lirio silvestre	<i>Asphodelus fistulosus</i>
Rabaniza	<i>Diploaxis eruroides</i>
Trébol marino	<i>Medicago marina</i>

Como se puede ver en la **Tabla 1**, las especies vegetales presentes en la playa son mayormente plantas herbáceas o arbustivas que crecen en zonas salinas y húmedas, además de las palmeras de abanico (especie introducida, originaria de México). En las **Figuras 5 a 7** se puede ver la distribución de las especies más abundantes en cada unidad morfológica.



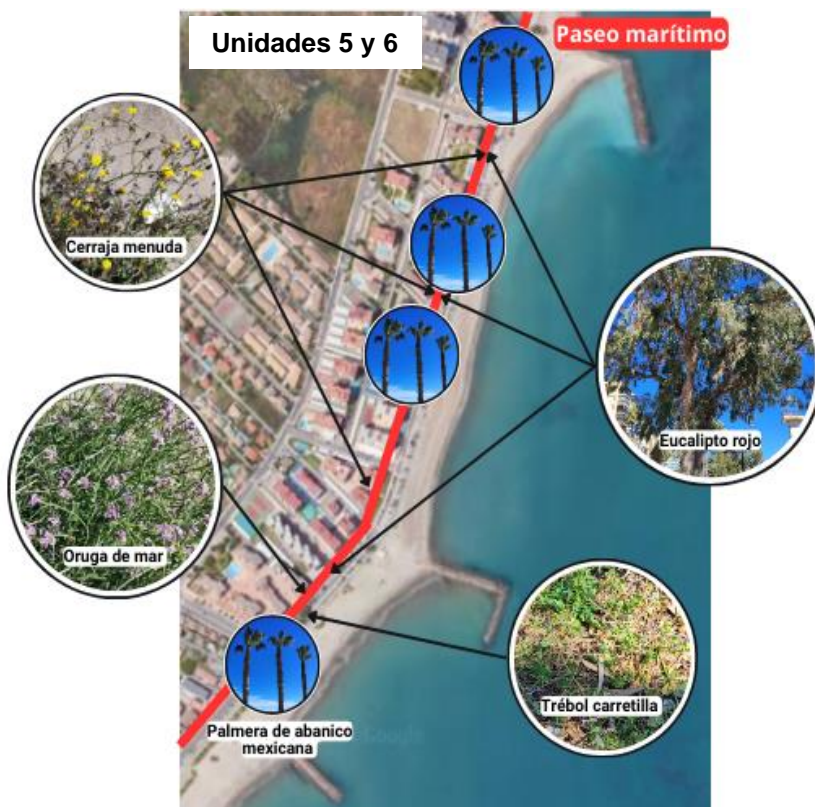
Las plantas más abundantes en las dos primeras unidades morfológicas son el Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*), presente a lo largo de todo el paseo marítimo de la playa (línea roja), la Palmera de abanico (*Washingtonia robusta*), y 3 especies de herbáceas: Cerraja menuda (*Sonchus tenerrimus*), Viborera (*Echium plantagineum*), y Trébol carretilla (*Medicago polymorpha*).

Figura 5. Especies vegetales más abundantes en las unidades morfológicas 1 y 2. Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.



En las unidades 3 y 4 también podemos ver la presencia del Eucalipto rojo a lo largo del paseo marítimo, y de las palmeras de abanico, además de las especies herbáceas mencionadas en la **Figura 6**. En la unidad 3 tenemos otra planta herbácea: Oruga de mar (*Cakile merittima*).

Figura 6. Especies vegetales más abundantes en las unidades morfológicas 3 y 4. Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.



En las dos últimas unidades se puede ver cómo tanto el Eucalipto rojo como las palmeras de abanico siguen apareciendo a lo largo del paseo, mientras que las especies herbáceas más observadas han sido el Trébol carretilla (*Medicago polymorpha*), Cerraja menuda (*Sonchus tenerrimus*), y la Oruga de mar (*Cakile merittima*).

Figura 7. Especies vegetales más abundantes en las unidades morfológicas 5 y 6. Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.

2.2. FAUNA.

Las especies animales observadas en la zona, incluyendo aves e invertebrados, se incluyen en las tablas siguientes.

Tabla 2. Aves observadas en la playa Heliópolis.

Nombre común	Nombre científico
Cormorán grande	<i>Phalacrocorax carbo</i>
Correlimos	<i>Calidris alba</i>
Gaviota común	<i>Larus fuscus</i>
Gorrión común	<i>Passer domesticus</i>

Tabla 3. Invertebrados observados en la playa Heliópolis.

Nombre común	Nombre científico
Abeja	<i>Apis mellifera</i>
Avispa común	<i>Vespula vulgaris</i>
Cangrejo	<i>Brachyura</i>
Erizo de mar	<i>Echinoidea</i>

Como se puede ver en las **Tablas 2 y 3** las especies observadas son las que se esperaba encontrar en cualquier ambiente costero: gaviotas, gorriones, chorlitos, etc. Y lo mismo se puede decir de los invertebrados.

Las especies que han sido avistadas más veces son la gaviota común, el gorrión común, y el erizo de mar. En la unidad morfológica 5 se han observado varios individuos de correlimos.



Figura 8. Especies de aves e invertebrados más avistados en las unidades morfológicas 1 a 4. Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.

En esta figura podemos ver que la especie más avistada ha sido el gorrión común, un ave que está completamente adaptada al entorno urbano, por lo que su abundancia no es un factor muy sorprendente. Por otra parte, se han avistado varios grupos de gaviotas en las unidades 3 y 4. Mientras que solo se ha detectado la presencia de varios erizos en las escolleras de la unidad 4 de la playa.



En las unidades morfológicas 5 y 6 se han avistado sobre todo gaviotas. Mientras que los erizos se han observado en las escolleras de la unidad 6. A diferencia de las primeras cuatro unidades, en la parte sur la unidad 5 se han avistado varios correlimos.

Figura 9. Especies de aves e invertebrados más avistados en las unidades morfológicas 5 y 6. Nota: Elaboración propia. Mapa base de Google Earth.

2.3. CONTEXTO Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA.

Benicàssim tiene un clima mediterráneo templado, con inviernos suaves y veranos calurosos. Las precipitaciones son escasas y suelen concentrarse en los meses de otoño e invierno. En esta clasificación climática destaca la influencia del mar Mediterráneo, tanto en la moderación de las temperaturas como en la estacionalidad de las precipitaciones en la zona.

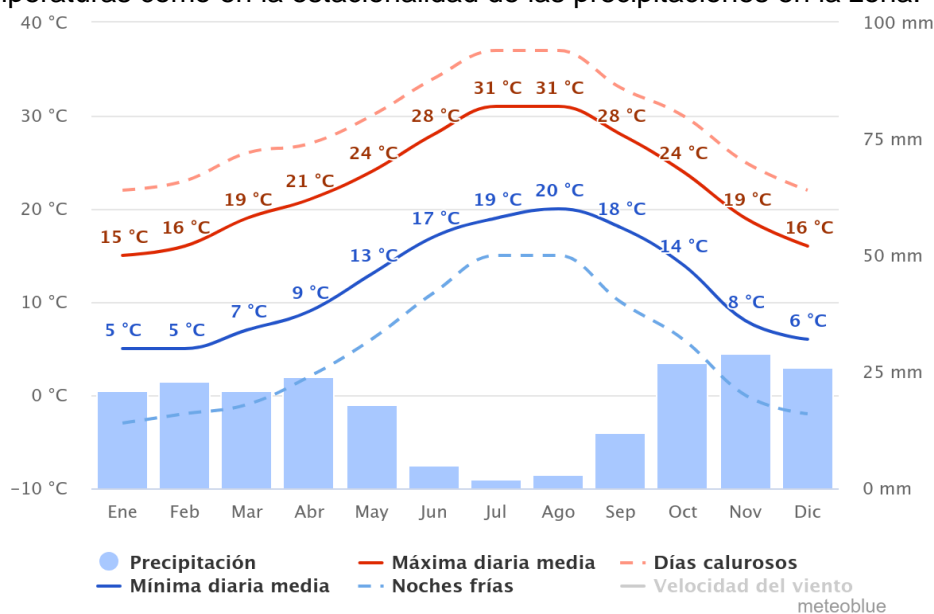


Figura 10. Diagrama de las temperaturas medias (°C) y precipitaciones (mm) en Benicàssim. Nota: Adaptado de Temperaturas medias y precipitaciones (gráfico), de Meteoblue, (s. f.). Nota: La máxima diaria media (línea roja continua) muestra la media de la temperatura máxima de un día por cada mes, mientras que la mínima diaria media (línea azul continua)

muestra la media de la temperatura mínima. Los días calurosos y noches frías (líneas azules y rojas discontinuas) muestran la media del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años.

Como se puede ver, los meses con menores precipitaciones son junio, julio, y agosto, con valores que no superan los 5 mm mensuales. Mientras que los meses con mayores precipitaciones son octubre, noviembre, y diciembre, con valores que van entre los 26 y 29 mm.

Por otra parte, respecto a las temperaturas, los meses más calurosos coinciden con los más secos, con unas temperaturas máximas medias diarias de entre 28 (junio) y 31 °C (julio y agosto).

En resumen, la temperatura media anual suele ser de alrededor de 18 °C. Los inviernos no son muy fríos, con temperaturas medias de 10 °C en enero. Mientras que los veranos son calurosos y secos, con temperaturas medias de 26 °C en julio.

2.4. CAMBIO CLIMÁTICO.

Las señales del cambio climático son cada vez más palpables en todo el planeta: el aumento de la temperatura del aire, el deshielo acelerado de glaciares y casquetes polares, el ascenso del nivel del mar, etc. Los diagramas que se presentan a continuación ofrecen una ventana a la realidad del cambio climático en Benicàssim durante las últimas cuatro décadas.

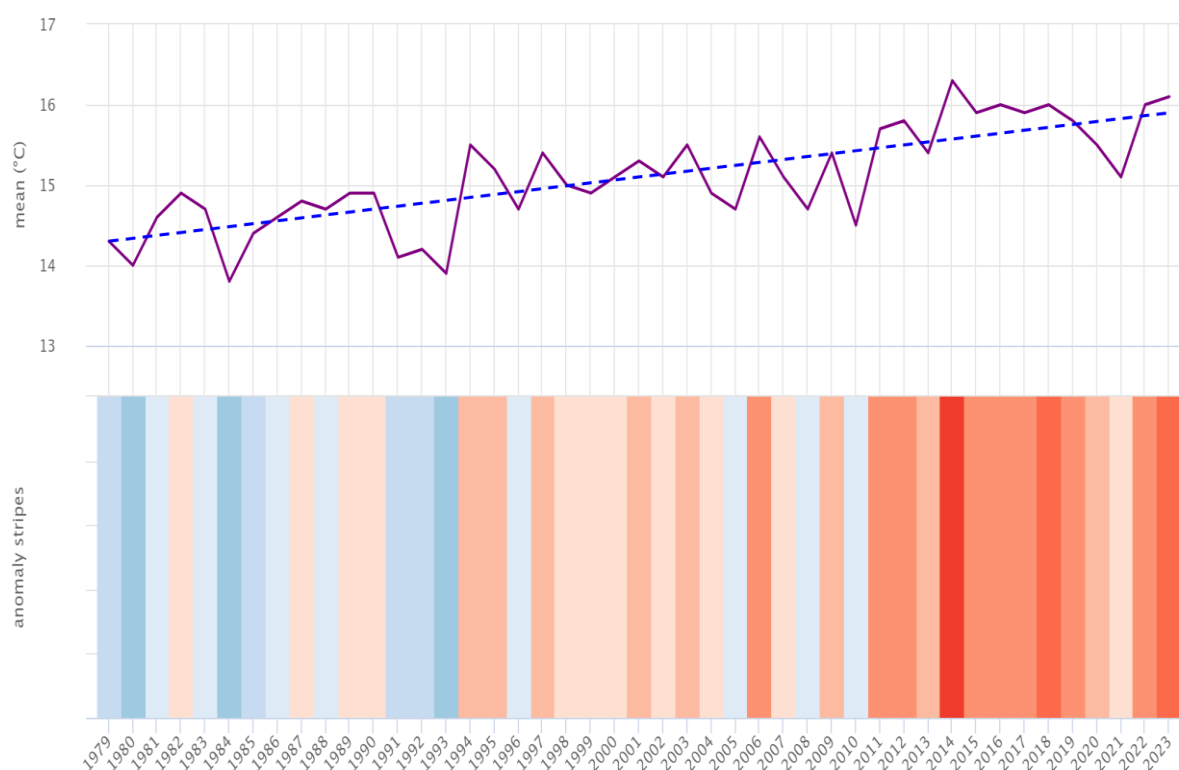


Figura 11. Diagrama del cambio anual de temperatura en Benicàssim (1979 a 2023). Adaptado de Cambio anual de temperatura Benicàssim (gráfico), de Meteoblue, (s. f.). Nota: La línea azul discontinua indica la tendencia lineal del cambio climático. En la parte inferior, el gráfico presenta las "franjas de calentamiento", donde cada franja de color simboliza la temperatura promedio de un año el azul representa los años más fríos y el rojo los más cálidos.

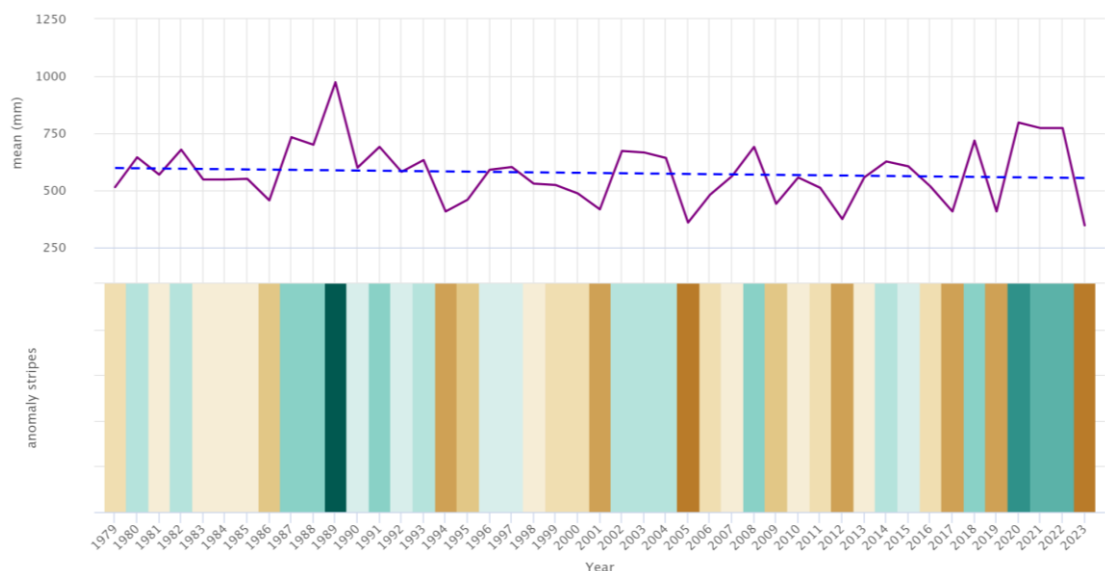


Figura 12. Diagrama de la variación anual de las precipitaciones en Benicasim (1979 a 2023). Adaptado de Variación anual de las precipitaciones – Benicàssim (gráfico), de Meteoblue, (s. f.). Nota: La línea azul discontinua refleja la tendencia lineal del cambio climático. En la parte inferior del gráfico, se presentan las "fajas de precipitación", donde cada franja de color indica la cantidad total de precipitación en un año: el verde para los años más húmedos y el marrón para los más secos.

Como se puede ver en la **Figura 11**, desde 1979, la temperatura media en Benicàssim ha aumentado de 14,3°C a casi 16°C en 2023, con una clara tendencia ascendente atribuida al cambio climático. Esta tendencia al calentamiento ha sido constante, excepto por ligeras caídas en 2005, 2008, 2010 y 2021. Paralelamente, como se puede ver en la **Figura 12**, las precipitaciones anuales han mostrado una tendencia decreciente desde 1997, siendo notable la reducción desde 797 mm en 2020 a 347 mm en 2023, indicando un ambiente cada vez más seco.

En conclusión, los datos presentados revelan una clara tendencia hacia el calentamiento en Benicàssim desde 1979. Este incremento es atribuido al cambio climático, mostrando una subida constante a pesar de algunas disminuciones esporádicas en ciertos años. Además, se observa una significativa disminución en las precipitaciones anuales desde 1997, lo que evidencia un ambiente cada vez más seco.

Por otro lado, cabe mencionar que en el Informe del mareógrafo del puerto de Valencia se registra un aumento gradual del nivel del mar, evidenciando el impacto del cambio climático. Estos datos muestran un incremento en la frecuencia y severidad de eventos extremos, como marejadas y tormentas, resultando en una mayor energía de las olas, que contribuye a la erosión costera y la reducción del ancho de las playas, así como a la inundación de áreas costeras. Consecuentemente, las playas pierden efectividad como barreras naturales contra inundaciones, lo que confirma que los cambios climáticos están exacerbando los riesgos de inundaciones costeras y deteriorando la protección natural que ofrecen las playas. Adicionalmente, el informe menciona que las variaciones en el nivel del mar pueden influir en los patrones de mareas, lo que podría alterar la forma en que las olas interactúan con las playas, afectando su estabilidad y características.

En resumen, y teniendo en cuenta que las tendencias observadas no permiten predecir con certeza cuál será el desarrollo en la zona de estudio, se puede concluir con que el cambio climático podría tener efectos negativos sobre la playa Heliópolis, incluyendo la erosión de la playa, inundaciones y cambios en la dinámica de las mareas, lo que podría afectar tanto la calidad del entorno natural como la infraestructura costera.

3. ESTUDIOS PREVIOS.

En este apartado se van a estudiar aspectos relevantes que afectan a la playa Heliópolis como son los usos del suelo y los límites del Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) a los que está sometida, y si presenta o no riesgo de inundabilidad. Por otra parte se realizará un estudio de la dinámica litoral de la playa de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Costas (Real Decreto 876/2014, de 10 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas).

3.1. USOS DEL SUELO Y DPMT.

La playa de Heliópolis se encuentra en una zona predominantemente urbana con usos recreativos y turísticos destacados. Se divide en dos zonas, por una parte la playa seca, clasificada como Suelo no urbanizable protegido, y por otra el paseo marítimo, clasificado como Suelo urbano.

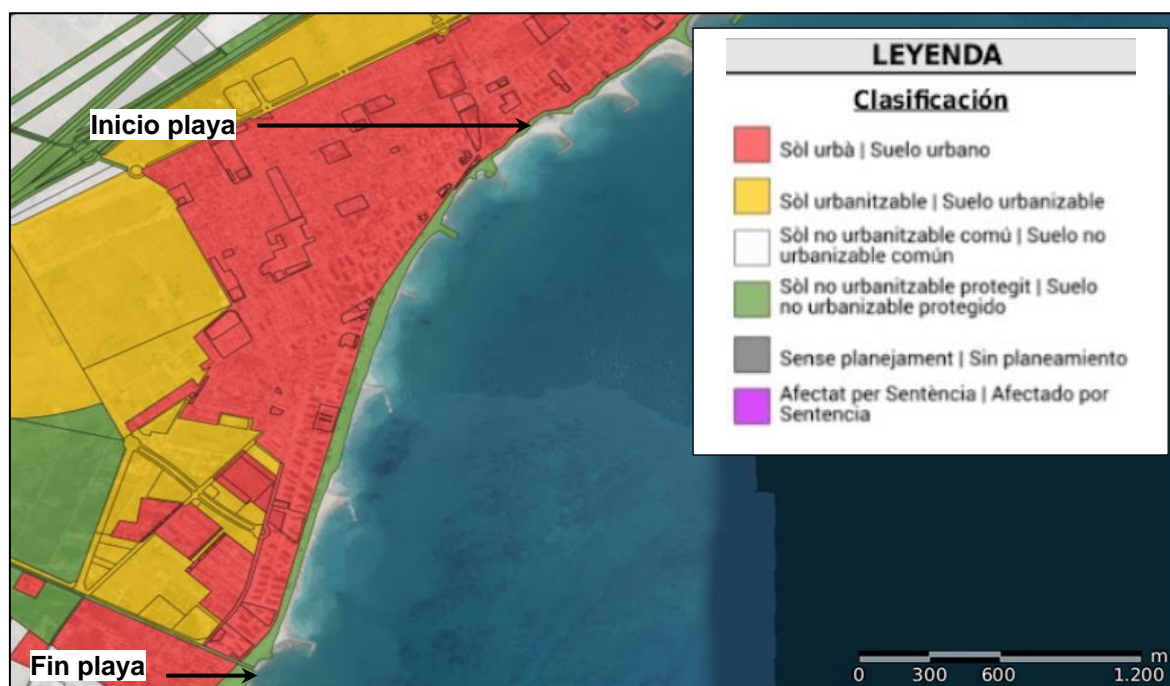


Figura 13. Clasificación del suelo de la Playa Heliópolis. Nota: Mapa base del visor GVA.

Debido a los principales usos recreativos y turísticos a los que está sometida la playa, y siendo un destino popular para actividades recreativas y turísticas, alberga varias infraestructuras clave que apoyan estos usos.

Entre las principales instalaciones destacan los paseos marítimos, que permiten a los visitantes disfrutar del paisaje costero mientras pasean o realizan actividades al aire libre. Además, las instalaciones hoteleras y de hostelería, incluyendo hoteles, restaurantes, y chiringuitos, ofrecen alojamiento y servicios gastronómicos, haciendo la estancia más cómoda y atractiva para los turistas.

PLAYA	VORAMAR	ALMADRAVA	TORRE	TERRERS	HELIÓPOLIS
Aseos y WC fijos paseo	2	4	1	3*	6
WC químicos arena	1	-	1	-	5
Salvamento/socorrismo	1	1	1	2	5
Módulo para PMR aseo/ducha/vestuario	-	1	-	-	-
Punto accesible	1	1	1	-	1
Papeleras					
Ternas de reciclaje	2	2	2	2	4
Duchas	7	6	10	10	23
Lavapiés	10	9	10	18	29
Pasarelas (metros)	350	300	350	600	850
Oficina de turismo	-	-	1	-	1
Biblioteca del mar	-	1	-	-	1
Área de juegos	4	2	3	2	12
Canal ent/sal embarcaciones	1	2	1	2	5
Chiringuito	1	2	1	2	5
Espigón iluminado	-	-	1	1	-
Bandera azul	sí	sí	sí	sí	sí
Q-calidad	sí	sí	sí	sí	sí
ISO 14.001	sí	sí	sí	sí	sí

Figura 14. Infraestructuras y servicios de las playas del municipio de Benicasim. Adaptado de Infraestructuras y servicios (tabla), de Ayuntamiento de Benicasim (2024). Nota: Las infraestructuras de la Playa Heliópolis se han resaltado en color rojo.

Podemos ver que la playa cuenta con un gran número de infraestructuras, entre las que se pueden destacar los 850 metros de pasarela de madera, 5 chiringuitos, y el gran número de duchas y lavapiés.

El auge del turismo y las actividades recreativas en la playa Heliópolis ha tenido un impacto significativo en la economía local. Este aumento de visitantes ha generado un mayor consumo de bienes y servicios, beneficiando a los negocios locales y fomentando el desarrollo inmobiliario en la zona. Se han construido más hoteles, restaurantes, y otras instalaciones turísticas para satisfacer la demanda creciente, lo que ha creado empleo y ha dinamizado la economía regional. Sin embargo, este crecimiento también ha traído consigo desafíos medioambientales importantes. La intensificación del uso de la playa y la construcción de infraestructuras necesarias para atender a los turistas han contribuido a la erosión costera, acelerando la pérdida de arena y alterando la geografía natural del lugar. Las estructuras artificiales pueden interferir con los procesos naturales de sedimentación y erosión, exacerbando la degradación de las costas. Además, durante la temporada alta, la gran afluencia de turistas puede perturbar los hábitats de las especies locales, lo que podría tener consecuencias negativas para la biodiversidad de la zona.

La presión constante sobre el ecosistema costero también reduce su capacidad de recuperación ante fenómenos naturales como tormentas y marejadas, lo que podría aumentar la vulnerabilidad de la zona a eventos extremos relacionados con el clima. En conjunto, mientras que el turismo y las actividades recreativas aportan beneficios económicos considerables, es crucial gestionar estos recursos de manera sostenible para proteger el medio ambiente y asegurar la longevidad de estos beneficios.

Por otra parte, el Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) se extiende desde la línea de marea alta hasta unos 20 metros tierra adentro, cubriendo la zona que las olas alcanzan durante los temporales.

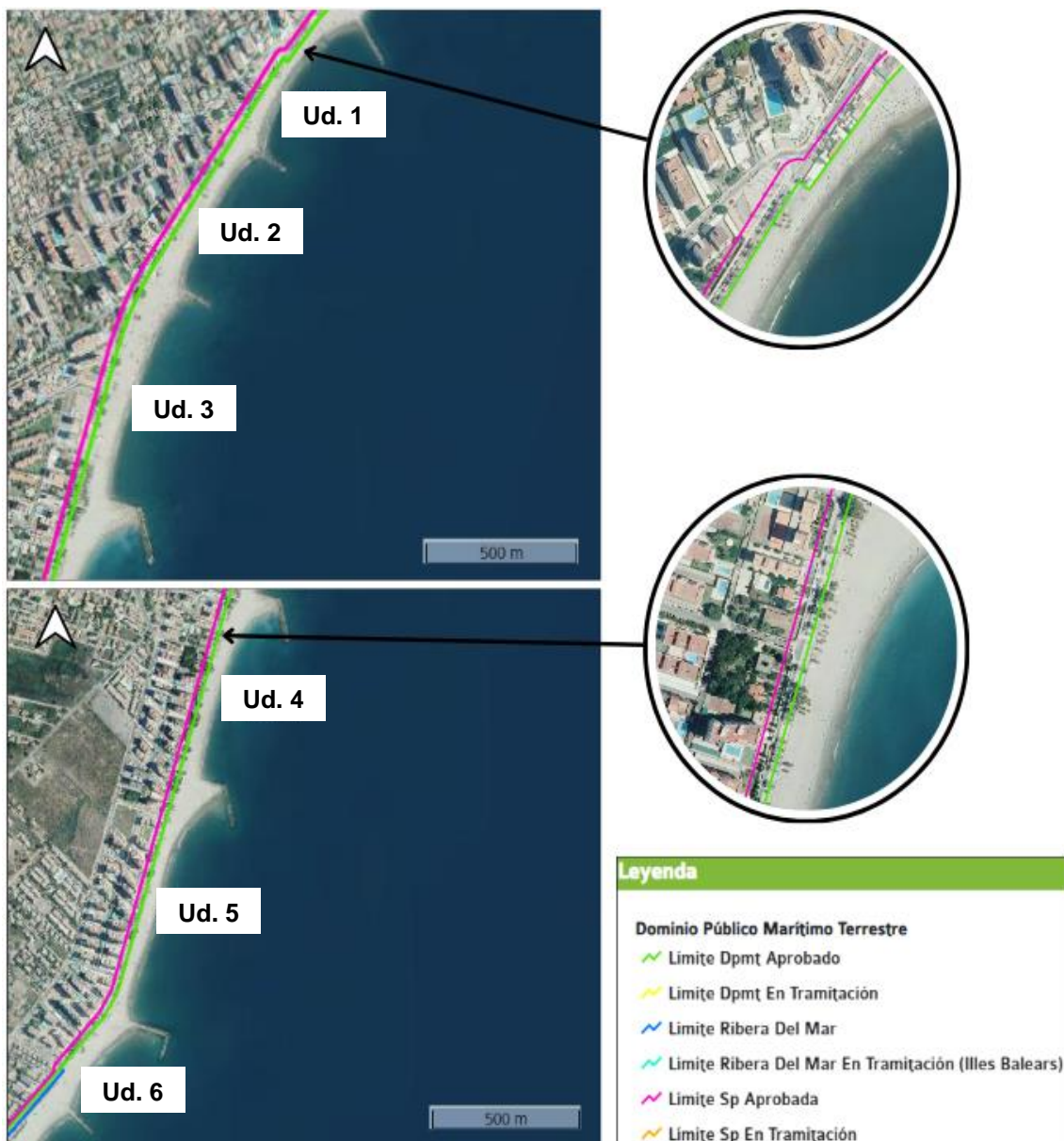


Figura 15. Límites del Dominio Público Marítimo Terrestre que afectan a la playa Heliópolis. Nota: Elaboración propia. Mapa base del MITECO.

El límite SP aprobada hace referencia a la frontera establecida legalmente entre el suelo urbano consolidado y el suelo no consolidado, por lo que este límite define qué áreas están preparadas para la construcción urbana (suelo consolidado) y cuáles no (suelo no consolidado).

En este caso, las actividades recreativas y la instalación de estructuras temporales están permitidas, mientras que las edificaciones permanentes están restringidas para preservar el entorno natural.

3.2. INUNDABILIDAD.

Como se puede ver en la **Figura 16** la zona más susceptible al riesgo de inundación es la parte sur del litoral del término municipal de Benicasim. Las unidades morfológicas 4, 5, y 6 se encuentran en un nivel de riesgo de inundación alto, lo que se puede traducir en daños considerables a las infraestructuras, viviendas, negocios, cultivos y otros bienes materiales.

Así como la interrupción de los servicios básicos como el suministro de agua potable, electricidad, y gas, entre otros.

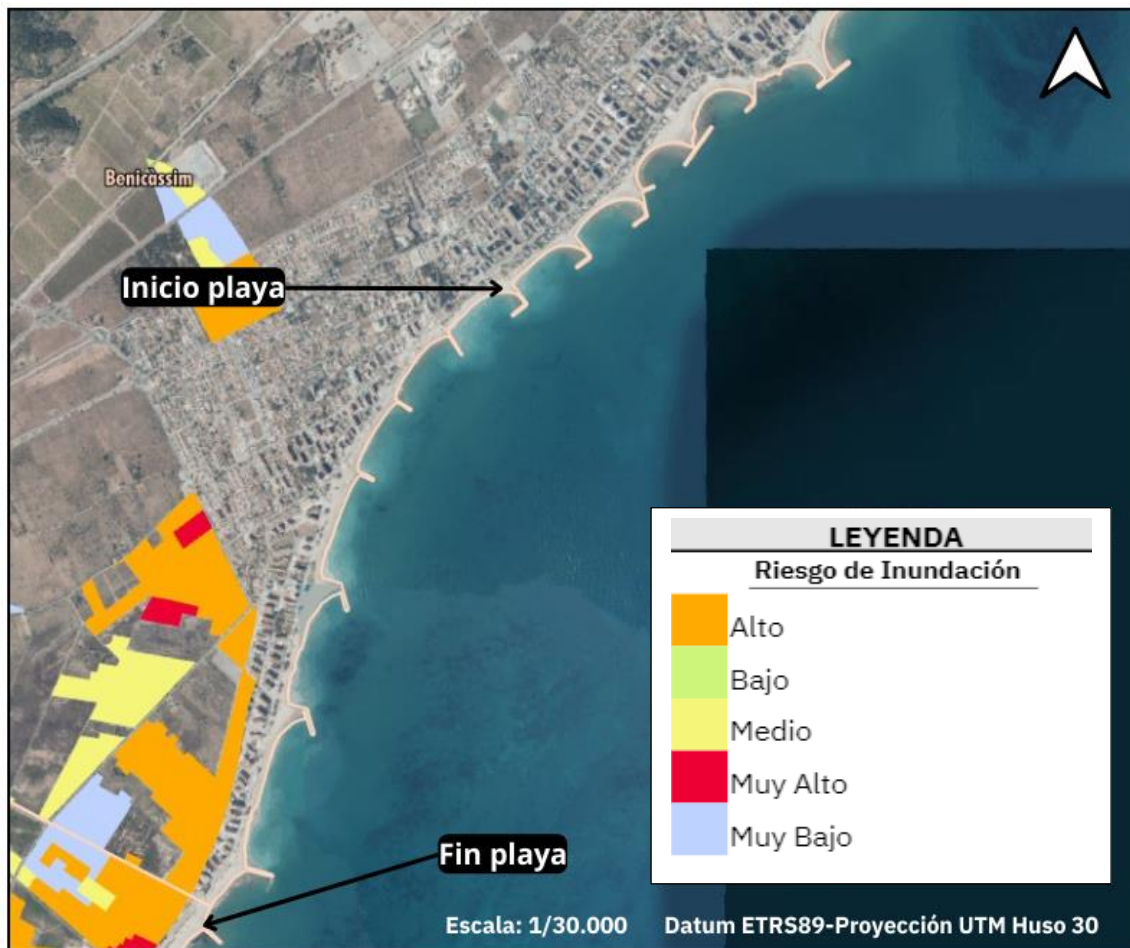


Figura 16. Riesgo de inundación en el litoral del término municipal de Benicàssim. Nota: Elaboración propia. Mapa base del Visor GVA.

3.3. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL.

La dinámica litoral es el conjunto de procesos físicos que modelan y transforman las costas de forma continua. Juega un papel fundamental en la configuración de nuestras costas ya que influye en la erosión costera y en el transporte de sedimentos. Este apartado se desarrollará más ampliamente en el **Anejo I. Estudio de Dinámica Litoral**. Se procederá al análisis de los principales procesos que influyen en la dinámica litoral según lo establecido en el Reglamento de Costas (*Real Decreto 876/2014, de 10 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas*).

Se llevará a cabo la caracterización de la dinámica litoral de la zona, así como un análisis de la evolución histórica de la línea de la costa. Finalmente se estudiará tanto el oleaje como el transporte de sedimentos en la zona de estudio, incluyendo el cálculo de la profundidad de cierra y la aplicación de la hipótesis de Pelnard-Considère (1956). Para esto se utilizarán las herramientas disponibles en los visores de Google Earth, la Generalitat Valenciana, y Navionics, así como la información relativa al informe del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado: Punto SIMAR 2085120 (boya de Castellón), que es el punto SIMAR más cercano a la playa Heliópolis.

Como resumen, el estudio de la dinámica litoral en esta zona revela que la erosión costera es un problema predominante, influenciado por la falta de sedimentos naturales y la acción

constante del oleaje. Este estudio muestra que la erosión se debe principalmente a la falta de sedimentos y a la acción del oleaje. La playa tiene un déficit de sedimentos naturales, lo que requiere aportes adicionales de arena.

El transporte litoral, que en este caso va de sureste a noroeste (ver **Figura AN 1**), provoca acumulación de sedimentos al norte de los espigones y erosión al sur. La pérdida de sedimentos es más grave en el sur (unidad 6) y menos en el norte (unidad 1). Por otro lado, la falta de datos históricos de aportes de arena dificulta un análisis completo.

Finalmente, cabe destacar que las unidades morfológicas de la playa tienen perfiles variados que afectan su accesibilidad, con una profundidad de cierre a 3,615 metros donde el transporte de sedimentos es prácticamente despreciable.

4. DIAGNÓSTICO.

La playa Heliópolis en el TM de Benicasim está experimentando una serie de desafíos relacionados con la erosión costera, el turismo, y los efectos del cambio climático. A lo largo de este estudio, se ha evaluado cómo estos factores están interconectados y cómo influyen en la estabilidad y sostenibilidad de esta zona. En este apartado se van a sintetizar los principales hallazgos del análisis.

Los datos de temperaturas y precipitaciones presentados revelan una tendencia hacia el calentamiento desde 1979, atribuida al cambio climático, con un incremento constante a pesar de algunas disminuciones esporádicas. Además, las precipitaciones anuales han disminuido significativamente desde 1997, indicando un ambiente más seco. Paralelamente, hay evidencias de un aumento gradual del nivel del mar, lo que ha incrementado la frecuencia y severidad de eventos extremos como marejadas y tormentas. Esto ha aumentado la energía de las olas, contribuyendo a la erosión costera y a la reducción del ancho de las playas, disminuyendo su efectividad como barreras naturales contra inundaciones.

Cabe destacar que las playas del municipio de Benicasim han experimentado un notable crecimiento impulsado por actividades recreativas y turísticas. Este crecimiento ha impulsado la economía local, generando ingresos y fomentando el desarrollo inmobiliario. Sin embargo, el turismo intensivo y la necesidad de servicios básicos han acentuado la erosión costera y la pérdida de arena. Además, durante la temporada alta (junio a agosto), la continua presencia de visitantes puede alterar el hábitat de especies locales y afectar la biodiversidad, reduciendo la capacidad de la playa para recuperarse de fenómenos naturales.

Los resultados del estudio de la dinámica litoral realizados muestran que los principales factores que contribuyen a la erosión costera en la playa Heliópolis son el déficit de aportes sedimentarios y la acción del oleaje. La playa Heliópolis enfrenta un déficit de aportes sedimentarios naturales, requiriendo aportaciones de arena para mantener su anchura. Además, el transporte litoral, con una deriva N-S, causa acumulación de sedimentos en el lado norte de los espigones (barlomar) y erosión en el lado sur (sotamar). La acción del oleaje y las corrientes marinas también juegan un papel crucial en la erosión, sedimentación y formación del perfil costero.

Como consecuencia se han observado variaciones en la anchura de las playas de Benicàssim, con crecimiento en las playas del norte y reducción en las del sur. En 1956, el litoral carecía de estructuras de defensa y las playas del norte, como Heliópolis, eran casi inexistentes en cuanto a anchura, mientras que las del sur mostraban un aumento progresivo. En 2023, las playas del norte han aumentado en anchura, pero las del sur han disminuido notablemente. Esta disminución se debe a la pérdida de sedimentos del delta y a la acumulación de los pocos sedimentos disponibles en el norte por la presencia de espigones,

impidiendo su distribución uniforme. Esta situación provoca erosión continua y disminuye la efectividad de las playas del sur como barreras contra inundaciones, poniendo en riesgo estas zonas costeras.

En cuanto a los resultados del cálculo del transporte de sedimentos, todos los tramos de la playa muestran un transporte de sedimentos negativo, en sentido sureste (SE) – noroeste (NO). Este fenómeno causa que en las unidades morfológicas más al sur, especialmente la unidad 6, sufran mayores pérdidas de sedimentos (23.597,80 m³/año), mientras que la unidad 1 tiene las pérdidas más bajas (13.557,89 m³/año). Las obras de defensa, como los espigones, afectan este transporte al crear barreras físicas que resultan en acumulación de sedimentos a barlomar y erosión a sotamar, exacerbando el problema de pérdida de sedimentos. Asimismo, se solicitó a la Dirección General de Costas la información referente a todos los aportes de arena efectuados en la playa Heliópolis a lo largo de los años para un mejor análisis de los hechos; sin embargo, no se recibió respuesta, por lo que no se dispone de dichos datos.

Finalmente, cabe destacar que las diferentes unidades morfológicas de la playa presentan perfiles variados que afectan tanto su accesibilidad como su forma y profundidad. Las unidades 1 y 3 tienen perfiles convexos con pendientes suaves y extraños amplios, facilitando el acceso. Las unidades morfológicas 2 y 5 tienen perfiles rectilíneos con pendientes pronunciadas, haciendo el acceso más difícil debido a sus estrechos y playas sumergidas profundas. La unidad 4 combina características de perfiles convexos y rectilíneos, con variaciones en la amplitud y profundidad del estrán y la playa sumergida. Finalmente, la unidad 6, similar a la primera unidad, presenta un perfil convexo con una pendiente suave y estrán amplia. Además, cabe destacar que, como la profundidad de cierre equivale a 3,615 metros, a partir de esta profundidad, las olas y corrientes pierden la energía necesaria para desplazar los sedimentos, por lo tanto, los cambios en el perfil de las unidades a partir de esta profundidad no tendrán relevancia.

5. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LA PROPUESTA ÓPTIMA.

Los criterios para elegir la propuesta óptima de este estudio se basan en los objetivos previamente establecidos, que son describir la playa Heliópolis y analizar su estado actual para poder sugerir mejoras para su conservación y desarrollo. Para seleccionar la mejor alternativa que responda a las necesidades identificadas, se ha realizado un análisis de las propuestas anteriores considerando tres dimensiones:

- Eficacia funcional.

Se evalúa la capacidad de cada propuesta para resolver el problema de manera satisfactoria, cumpliendo con los objetivos planteados y generando un impacto positivo en la zona de estudio. Esto incluye analizar cómo cada opción aborda los desafíos identificados y su efectividad para lograr los resultados deseados.

Este criterio se evaluará mediante la definición de objetivos específicos e indicadores clave de éxito, asignando una puntuación de 0 a 5 a cada alternativa.

- Sostenibilidad ambiental.

Se analiza el impacto ambiental de cada propuesta, considerando aspectos como la alteración del ecosistema y los riesgos potenciales. La evaluación busca elegir la alternativa

que minimice los impactos negativos y promueva el desarrollo sostenible a largo plazo, asegurando que el entorno natural se conserve y mejore con el tiempo.

Este criterio requiere analizar exhaustivamente el impacto ambiental de cada opción, considerando la conservación del ecosistema y la mitigación de impactos negativos. También asignando una puntuación de 0 a 5 a cada alternativa.

- Armonía estética.

Se valora el impacto visual de cada propuesta y su integración en el entorno natural y paisajístico. Se busca seleccionar la alternativa que respete los valores estéticos del lugar y se integre de manera armoniosa, mejorando el atractivo visual del área sin desentonar con su entorno natural.

En este caso se evaluará el impacto visual, la mejora estética y la integración con el entorno, asignando una puntuación de 0 a 5. Esto proporcionará un marco para entender cómo cada alternativa afecta la percepción estética del área

Para valorar cada criterio y realizar una comparación objetiva de las alternativas planteadas, se seguirá un proceso sistemático que considere cada una de las tres dimensiones en detalle planteadas en una escala común. En esta escala, un valor de 5 indica la opción más favorable y 0 la menos favorable.

La selección de la propuesta óptima se realizará eligiendo aquella que obtenga la puntuación total más alta. Este enfoque garantiza una decisión informada y justificada basada en criterios claros y objetivos.

6. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN.

En el siguiente apartado se presentarán una serie de propuestas diseñadas para abordar y mitigar la erosión costera en la playa Heliópolis, enfocándose en restaurar y mejorar la capacidad de las playas para proteger la costa. Estas propuestas incluirán un análisis detallado de las diferentes soluciones posibles, examinando sus ventajas e inconvenientes.

Asimismo, se evaluarán los posibles impactos ambientales de cada propuesta para asegurar que las soluciones no solo sean efectivas en el control de la erosión, sino también sostenibles desde el punto de vista ecológico. Esta evaluación es crucial para abordar el problema de la reducción del ancho de las playas, exacerbado por el aumento en la energía de las olas debido al cambio climático. Al restaurar y reforzar la capacidad de las playas para servir como barreras naturales contra inundaciones, se pretende reducir los riesgos de inundaciones costeras y mejorar la protección natural de la costa frente a los efectos adversos del cambio climático.

6.1. SEGUIR CON LOS APORTES DE ARENA.

Como se ha mencionado anteriormente, durante los últimos años se han estado haciendo aportes de arena para acondicionar la playa Heliópolis. La última aportación conocida a las playas de la zona sur del municipio de Benicasim fue de $15.000m^3$ de arena (Ayuntamiento de Benicasim, 2023), por lo que se contempla como opción seguir con estos aportes para mantener una anchura de orilla óptima.

A continuación se presenta una tabla resumen con las ventajas e inconvenientes de los aportes de arena como alternativa.

Tabla 4. *Ventajas e inconvenientes de seguir con los aportes de arena.*

Ventajas	Inconvenientes
Aumenta la anchura de la playa rápidamente	Alto costo económico
Mejora la protección contra la erosión	Necesidad de aportes periódicos
Beneficia el turismo y la economía local	Transporte y logística complicados
Proporciona espacio adicional para recreación	Fuente de arena limitada
Mejora la estética y el atractivo visual	

Como se puede ver en la tabla, las ventajas de los aportes de arena incluyen un aumento rápido de la anchura de la playa, mejorando el atractivo turístico y beneficiando la economía local. También protegen contra la erosión costera y mejoran la seguridad y comodidad de los visitantes al ofrecer más espacio. Además, si se realizan adecuadamente, pueden tener un impacto positivo en el ecosistema local y permitir la organización de eventos deportivos y recreativos. Sin embargo, presentan inconvenientes importantes, como altos costos de financiamiento inicial y mantenimiento a largo plazo, y pueden tener un impacto ambiental negativo si no se gestionan adecuadamente, alterando las dinámicas naturales y afectando la biodiversidad de la zona.

Para analizar cómo afecta la aportación de arena se compararán las ortofotos obtenidas del ICV (*Instituto Cartográfico Valenciano, Generalitat Valenciana*) durante los años anteriores y posteriores a la aportación de arena que tuvo lugar en la playa Heliópolis en el año 2021 (*Decreto 2102 - Expediente 5153, Ayuntamiento de Benicasim, 2021*).



Figura 17. *Ortofotos de la playa Heliópolis antes (2020), durante (2021) y después (2022) de la aportación de las 5,5 toneladas de arena. Nota: Adaptado de Ortofotos RGB, de la Generalitat Valenciana (2020,2021 y 2022), Visor de la GVA.*

Como se puede ver en la primera imagen (año 2020) la anchura de la costa es relativamente estrecha, sobre todo en los tramos más al norte de la playa Heliópolis.

En la segunda imagen (año 2021) ya se había realizado el aporte de arena procedente del cauce del río Seco, y se puede observar que la anchura de la costa ha aumentado, ya que hay una franja de arena más amplia en comparación con la imagen del año anterior.

Finalmente, en la tercera imagen se puede ver como la anchura de la costa se ha mantenido relativamente estable en comparación con la imagen de 2021 (la franja de arena visible es similar), por lo que podemos decir que la aportación de arena en 2021 parece haber tenido un impacto positivo en la anchura de la costa.

Para acabar de analizar esta propuesta se detalla una tabla descriptiva con los impactos ambientales derivados de la actuación (y sus posibles medidas correctoras), que se tendrán en cuenta a la hora de la elección de la propuesta óptima.

Tabla 5. Impactos ambientales de los aportes de arena para aumentar la anchura de la playa.

Método	Impacto Ambiental	Medida Correctora
Aportes de Arena	Alteración del ecosistema marino	Realizar estudios de impacto ambiental previos y seleccionar áreas de extracción adecuadas.
	Enterramiento de organismos marinos	Monitorear y proteger áreas sensibles, reubicar especies si es necesario.
	Afectación de la calidad del agua	Usar arenas compatibles y realizar análisis de la calidad del agua.
	Cambio en la morfología costera	Realizar monitoreos post-aporte y ajustar estrategias según sea necesario.
	Impacto en la fauna y flora de la zona de extracción	Implementar programas de restauración y compensación ecológica.

Cabe destacar que estos aportes se deberían hacer de forma periódica, en este caso de forma anual y antes del inicio de la época estival. Además, la cantidad de arena a aportar en este caso se deberá determinar teniendo en cuenta los cálculos del transporte de sedimentos realizados en el **Anejo I** (ver **Figura AN 8. Resultados del transporte de sedimentos para las unidades morfológicas 1 a 6 tras aplicar la fórmula del transporte.**), para así compensar el flujo de transporte actual de los sedimentos.

6.2. COLOCACIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES EN LOS TRAMOS 4 Y 5 COMBINADOS CON ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL CON ARENA.

La construcción de arrecifes artificiales en los Tramos 4 y 5 combinada con aportes periódicos de arena se presenta como una alternativa sostenible para combatir la erosión costera que afecta a este tramo del litoral. Los arrecifes artificiales son estructuras sumergidas diseñadas para imitar los arrecifes naturales, creando hábitats para la vida marina y protegiendo la costa de la erosión. En este caso, se proponen dos arrecifes sumergidos, que consisten en estructuras sólidas colocadas bajo el agua a una profundidad variable.

Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la colocación de arrecifes artificiales.

Ventajas	Inconvenientes
Reduce la energía de las olas y la erosión	Coste inicial elevado
Promueve la biodiversidad marina	Requiere mantenimiento
Puede mejorar las condiciones para el buceo	Riesgo de diseño y construcción inadecuados
Proporciona una solución más duradera	Impacto temporal durante la construcción
Disminuye la necesidad de aportes de arena	Puede afectar la navegación

Como se puede ver en la tabla, la colocación de arrecifes artificiales reduce la energía de las olas, disminuyendo los efectos de la erosión en la playa, además de los diversos beneficios socio-económicos que también se mencionan. Es importante mencionar que la construcción de un arrecife artificial sea cual sea su finalidad, se equipara a la construcción de cualquier otra obra marítima permanente. Por lo tanto, debe cumplir con los mismos requisitos legales y administrativos establecidos en la Ley de Costas (*Real Decreto 876/2014, de 10 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas*).

En este caso, se implementará una estrategia combinada para estabilizar la playa mediante aportes periódicos de arena y la instalación de arrecifes artificiales sumergidos. Los aportes de arena se realizarán con menor frecuencia en comparación con la alternativa 1, ya que los arrecifes artificiales ofrecerán una protección adicional al reducir la energía de las olas y mejorar la retención de sedimentos. Esta combinación tiene el objetivo de maximizar la estabilidad de la playa, abordando de manera efectiva la erosión costera.

La colocación de arrecifes artificiales contribuye a disipar la energía de las olas, lo que reduce el impacto de las tormentas y mejora la acumulación de sedimentos, disminuyendo así la necesidad de aportes de arena continuos. Sin embargo, es esencial considerar los posibles impactos ambientales de los aportes de arena, como cambios en la biodiversidad local y alteraciones en los hábitats marinos. Por ello, se realizará un seguimiento continuo para minimizar los efectos negativos y asegurar una intervención sostenible.

Los principales impactos ambientales derivados de la colocación de los arrecifes artificiales submarinos se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 7. Impactos ambientales de la colocación de un arrecife artificial submarino.

Método	Impacto Ambiental	Medida Correctora
Construcción de arrecifes artificiales	Creación de nuevos hábitats marinos	Diseñar arrecifes que imiten hábitats naturales y promuevan la biodiversidad
	Alteración de las corrientes naturales	Realizar estudios previos de dinámica costera para minimizar alteraciones
	Posible impacto visual negativo	legir materiales y diseños que se integren visualmente con el entorno
	Posible acumulación de sedimentos	Monitorear y gestionar la acumulación de sedimentos mediante limpieza periódica
	Potencial desplazamiento de especies existentes	Implementar programas de monitoreo y conservación de especies afectadas

Como se puede ver en la tabla anterior, esta alternativa tiene impactos ambientales como la alteración del hábitat marino y la modificación de las corrientes marinas, además de posibles impactos visuales y en la calidad del agua. Para mitigar estos efectos, es crucial seleccionar materiales compatibles con el entorno marino, realizar estudios ambientales previos, implementar un plan de monitoreo continuo y asegurar la participación de comunidades locales y expertos en el proyecto.

6.3. CAMBIO EN LA FORMA DE LOS ESPIGONES DE LOS TRAMOS 1, 2 Y 3 EN FORMA DE L Y COLOCACIÓN DE UN ARRECIFE EN EL TRAMO 3, COMBINADOS CON ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL DE ARENA.

Los tres primeros tramos de la playa Heliópolis son los que presentan una menor anchura de playa seca, por lo que otra posibilidad que se plantea es el cambio de la forma de los espigones ya existentes en unos con forma de L, así como la instalación de un arrecife artificial en el tercero. Todo esto en combinación con aportes artificiales de arena.

Las ventajas e inconvenientes de esta alternativa, así como sus impactos ambientales, se exponen en las tablas siguientes (En las **Tablas 4 y 6** se pueden ver las ventajas e inconvenientes de los aportes de arena y la colocación de los arrecifes artificiales respectivamente):

Tabla 8. *Ventajas e inconvenientes de los espigones en forma de L en comparación con los ya existentes.*

Aspecto	Espigones en forma de L	Espigones actuales
Ventajas	Mejoran la retención de arena	Mejoran la estabilidad costera
	Reducen la erosión de la playa	Reducen el transporte de sedimentos mar adentro
	Favorecen la acumulación de arena	Menor interrupción del flujo de sedimentos
	Menor impacto visual	Menor costo inicial de construcción
Inconvenientes	Pueden aumentar la erosión aguas arriba	Menor eficacia en la acumulación de arena

Como se puede ver en la **Tabla 8**, los espigones en forma de L ofrecen ventajas significativas al mejorar la retención y acumulación de arena, reduciendo así la erosión en la playa Heliópolis. Además, su impacto visual es menor comparado con los espigones rectos ya existentes. Por lo que teniendo en cuenta los criterios establecidos en el apartado 5, son una mejor elección que los espigones rectos actuales.

Tabla 9. *Impactos ambientales de los espigones en forma de L.*

Impacto Ambiental	Medidas Correctoras
Alteración de hábitats marinos	Realizar estudios previos para identificar áreas sensibles y evitar impactos directos. Implementar medidas de mitigación como la creación de arrecifes artificiales.
Cambios en la dinámica costera	Monitoreo continuo de la evolución costera para ajustar diseños si es necesario. Implementar técnicas de restauración costera como la reposición de arena.
Influencia en las corrientes marinas	Modelado hidrodinámico detallado para predecir y mitigar posibles cambios en las corrientes. Diseñar los espigones de manera que minimicen las perturbaciones.
Impacto en la biodiversidad local	Implementar programas de monitoreo de la biodiversidad antes, durante y después de la construcción. Restaurar o compensar áreas afectadas si es necesario.
Efectos en actividades recreativas	Planificación cuidadosa de la ubicación de los espigones para minimizar el impacto en actividades recreativas como el baño y la navegación.
Alteración visual y paisajística	Diseñar los espigones de forma estéticamente integrada con el entorno. Plantar vegetación costera para mitigar el impacto visual.

Como se detalla en la tabla, es fundamental abordar la alteración de hábitats marinos a través de estudios previos exhaustivos, que permitan identificar y evaluar los posibles impactos ambientales antes de la implementación de nuevas estructuras costeras. La creación de arrecifes artificiales puede servir como una medida de mitigación efectiva para minimizar el impacto negativo en los ecosistemas marinos, ya que estos arrecifes pueden ofrecer refugio y hábitat alternativo para las especies locales, promoviendo la biodiversidad.

Además, es crucial monitorear de cerca los cambios en la dinámica costera que puedan resultar de la instalación de espigones en forma de L. Para ello, deben emplearse técnicas de restauración costera adecuadas que permitan intervenir de manera oportuna y eficaz en caso de ser necesario. También se debe evaluar cuidadosamente la influencia de los espigones en las corrientes marinas, ajustando su diseño para reducir las perturbaciones en la circulación de sedimentos y aguas. En el caso de los espigones, también se deberá tener en cuenta la profundidad de cierre, mencionado en el **Anejo I. Estudio de Dinámica Litoral**.

La gestión del impacto en la biodiversidad local debe incluir programas de monitoreo continuo, así como acciones correctivas para restaurar cualquier área afectada por las modificaciones en el entorno costero. En resumen, adoptar estas medidas garantizará que la instalación de espigones se realice de manera ambientalmente responsable y sostenible, preservando la integridad ecológica de la zona costera y asegurando un equilibrio entre la protección costera y la conservación del medio ambiente.

Una vez planteadas estas alternativas se va a proceder a la elección de la propuesta óptima que cumpla con los requisitos previamente establecidos. Para esto se evaluará cada alternativa en función de su eficacia funcional, sostenibilidad ambiental y armonía estética, y se asignará una puntuación del 0 (opción menos favorable) al 5 (opción más favorable) conforme a lo establecido en el **Apartado 5**. Adicionalmente, también se tendrá en cuenta el coste económico inicial, de mantenimiento, y a largo plazo de cada alternativa.

Tabla 10. Resumen de cada alternativa en función de los objetivos y dimensiones establecidas.

Criterio	Alternativa 6.1: Aportes de Arena	Alternativa 6.2: Arrecifes Artificiales y Aportes de Arena	Alternativa 6.3: Espigones en Forma de L, Arrecifes y Aportes de
Eficacia funcional	Buena para mantener la anchura de la playa, pero requiere aportes frecuentes.	Alta capacidad de protección contra la erosión, reducción en la frecuencia de los aportes de arena.	Alta efectividad en la retención de arena y reducción de erosión, combinada con arrecife.
Sostenibilidad Ambiental	Impacto ambiental significativo debido a la frecuente alteración de la playa y posible daño a la biodiversidad.	Impacto moderado con arrecifes artificiales, mejor compatibilidad con el entorno marino, menor frecuencia de alteración.	Impacto ambiental gestionable con estudios previos y monitoreo continuo, menor impacto visual y mejores resultados ambientales.
Armonía Estética	Mejora estética temporal, pero puede requerir mantenimiento frecuente.	Mejora estética con arrecifes sumergidos, menos intrusivo visualmente.	Mejor integración visual con espigones en L, menor impacto visual que estructuras rectas.
Coste	Alto costo inicial y recurrente.	Alto costo inicial, menor costo de mantenimiento comparado con solo aportes de arena.	Alto costo inicial, pero eficiente a largo plazo combinando varias medidas.

Tabla 11. Resumen de las puntuaciones de cada alternativa en función de la puntuación obtenida en la evaluación.

Alternativa	Eficacia funcional	Sostenibilidad	Armonía Estética	Coste	Puntuación total
6.1: Aportes de Arena	3	2	3	2	10
6.2: Arrecifes Artificiales y Arena	4	4	4	3	15
6.3: Espigones en L, Arrecifes y Arena	5	4	5	4	18

Como se puede ver en las tablas anteriores, la **Alternativa 6.3** se presenta como la opción más equilibrada y efectiva para la mejora de la playa Heliópolis. Respecto a su eficacia funcional es la más alta entre el resto de alternativas, ya que combina varias medidas para la protección y mantenimiento de la playa. Además ofrece una gestión ambiental responsable, con estudios previos y monitoreo continuo para mitigar impactos, además de presentar una mejor integración visual y menor impacto estético comparado con las otras dos alternativas.

Cabe destacar que, aunque esta alternativa tiene un coste inicial elevado, su eficiencia a largo plazo y el equilibrio entre funcionalidad, sostenibilidad y estética la convierten en la mejor opción para abordar los problemas que presenta la playa Heliópolis.

7. DESARROLLO DE LA PROPUESTA ÓPTIMA.

Tras evaluar las alternativas propuestas en el apartado anterior, se ha identificado que la **Alternativa 6.3** es la más adecuada para abordar de manera integral la problemática que presenta la playa Heliópolis.

Para llevar a cabo esta actuación, y respecto al arrecife artificial, se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- *Material:* Se ha elegido el hormigón para la fabricación del arrecife artificial debido a su resistencia, durabilidad y peso, que aseguran su estabilidad. Este material es fácil de moldear para imitar arrecifes naturales, inerte y seguro para el medio ambiente. Además, se integra visualmente en el entorno marino con el tiempo y es accesible, económico y fácil de instalar sin anclajes adicionales (Nebot Gómez, 2015).
- *Forma y diseño:* Se ha optado por una forma alargada y un diseño escalonado para el arrecife, ya que así se reduce la energía de las olas a la vez que protege la playa al dispersar su impacto, permitiendo un flujo controlado hacia la costa (Nebot Gómez, 2015), reduciendo así la erosión. Teniendo en cuenta la información del informe del autor London Convention and Protocol/UNEP (2009) para la profundidad de cierre obtenida se recomendaría una estructura de 2 metros de altura y 10 metros de largo.
- *Orientación del arrecife respecto a la playa:* El arrecife se instalará de forma paralela a la línea de la playa, una disposición estratégica diseñada para maximizar su eficacia en la protección costera. Al estar alineado con la costa, el arrecife puede interceptar y reducir la energía de las olas antes de que estas alcancen la orilla. Este proceso de disipación de energía es crucial para mitigar la erosión, ya que las olas más débiles tienen un menor impacto en el transporte y desplazamiento de arena y sedimentos. Además, esta configuración paralela facilita la creación de un entorno marino más estable y propicio para la colonización de especies marinas, contribuyendo así a la biodiversidad local y a la resiliencia del ecosistema costero frente a eventos climáticos extremos.
- *Distancia de la costa:* Por lo general, los arrecifes artificiales se sitúan a una distancia que les permite funcionar como barreras contra las olas, lo que suele oscilar entre 100 y 300 metros desde la costa (London Convention and Protocol/UNEP, 2009, p.53), en este caso el arrecife se instalará a unos 100 metros de la línea de costa. Al situarlo a esta distancia, se logra reducir la intensidad de las olas y se evitan corrientes fuertes que podrían causar acumulaciones indeseadas de arena o sedimentos en la zona.

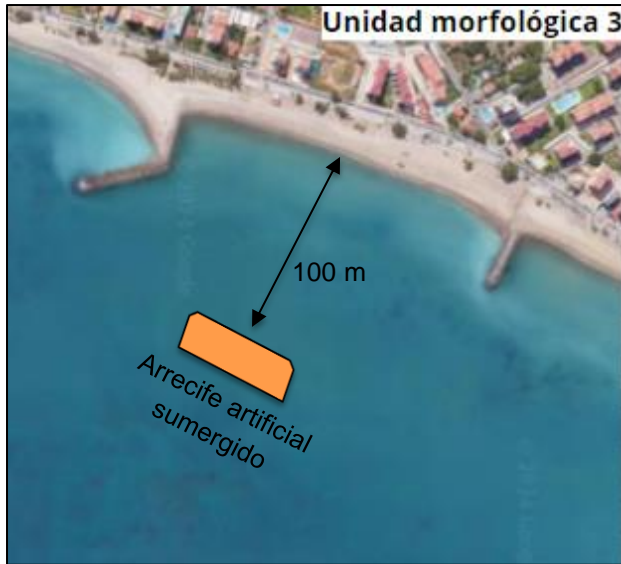


Figura 18. Esquema representativo de la orientación y distancia de la costa del arrecife artificial.



Figura 19. Ejemplo de arrecife artificial sumergido.

- *Profundidad de la instalación:* Teniendo en cuenta que la profundidad de cierre son 3,615 metros, el arrecife se colocará a unos 3 metros de profundidad, donde actuará como un rompeolas natural, reduciendo la energía de las olas y la erosión costera. Además, disminuirá la acción erosiva del agua y creará un hábitat marino favorable para la biodiversidad y el equilibrio ecológico en la zona costera.

Es relevante señalar que la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino establece que cualquier actividad en aguas marinas que implique obras, instalaciones, depósitos de materiales o vertidos debe contar con un informe favorable del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, confirmando su compatibilidad con la estrategia marina correspondiente según criterios reglamentarios.

Como se ha mencionado en el apartado 6, los primeros tres tramos de la playa Heliópolis tienen una playa seca estrecha, lo que indica una mayor vulnerabilidad a la erosión costera. Para abordar esto, se propone una estrategia integral que incluye modificar los espigones existentes para que tengan forma de L, una configuración que ha demostrado ser efectiva para retener y acumular arena, ayudando a reducir la erosión en la playa.

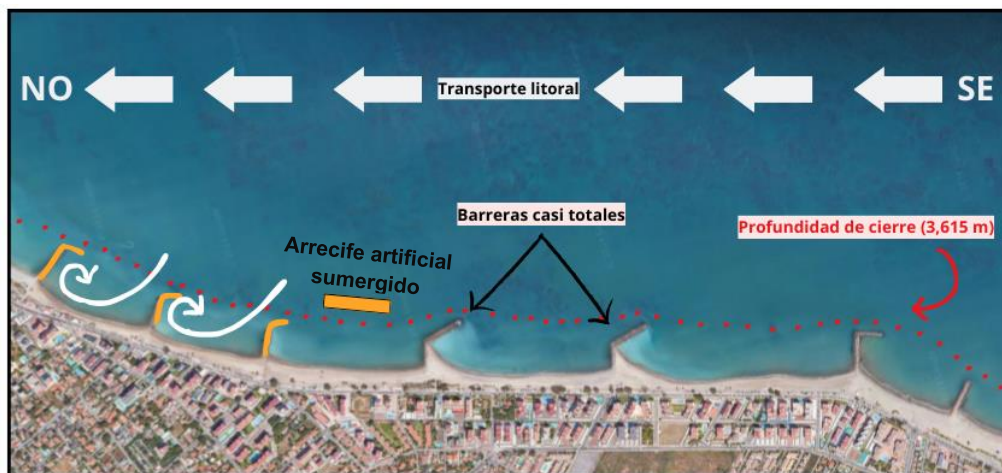


Figura 20. Representación del efecto de los espigones en L sobre la corriente del litoral.

Un aspecto importante a considerar es que los espigones pueden funcionar como barreras totales o parciales, según su diseño y objetivo específico. En este caso, se trata de barreras casi totales (ver **Anejo I. Estudio de Dinámica Litoral: Cálculo del perfil de la playa con batimetrías**), debido a su longitud y profundidad de la playa a la que llegan. Como se puede ver en la **Figura 20**, los espigones rectos en forma de L alteran el flujo de las corrientes marinas, lo que impide que los sedimentos se desplacen libremente. Como resultado, los sedimentos quedan atrapados en el área que se forma entre los espigones, evitando así su pérdida y contribuyendo a la acumulación de arena en esa zona.

También es importante destacar los materiales utilizados en su construcción, ya que los nuevos tramos de espigón propuestos deben ser del mismo material que los originales (bloques de piedra y roca natural de gran tamaño). Por lo tanto, en estos nuevos tramos se asegurará que los nuevos materiales sean concordantes con los ya existentes, garantizando una integración óptima con el entorno.

Por otro lado, los aportes de arena jugarán un papel crucial en la estrategia de manejo costero de la playa. Estos aportes se realizarán de manera artificial y estarán dirigidos a restaurar y mantener la anchura adecuada de la playa seca en los primeros tres tramos. Estos aportes se llevarán a cabo de manera estratégica y periódica, en el mes de mayo, meses óptimos debido a las condiciones estables del clima y las corrientes favorables para la distribución efectiva del sedimento. Esta fecha también minimiza el impacto en la temporada turística y permiten una planificación a largo plazo para garantizar la efectividad de las medidas de manejo costero en la playa.

- Determinación del volumen de arena necesario para llevar a cabo la propuesta óptima.

El volumen de arena a aportar se determinará en el **Anejo II. Determinación del Volumen de Arena a Aportar para la Propuesta Óptima**. El análisis en el apartado se centra en determinar el volumen de arena necesario para mitigar la erosión costera en la playa Heliópolis, manteniendo una anchura de 45 metros. Utilizando la hipótesis de Pelnard-Considère y considerando la profundidad de cierre (D_c) y los datos morfológicos de la playa incluidos en el **Anejo I**, se calcula que se requieren aproximadamente $36,339.12 \text{ m}^3$ anuales de sedimentos para mantener la estabilidad y funcionalidad de la playa.

Este volumen es crucial para combatir el déficit sedimentario actual y es parte de una gestión activa necesaria para prevenir la erosión costera. La aportación regular de arena es esencial no solo para proteger la playa como barrera contra inundaciones, sino también para enfrentar los desafíos del cambio climático, como el aumento de la energía de las olas y eventos climáticos extremos. Estas medidas, junto con la colocación de un arrecife artificial sumergido y el cambio en la forma de los espigones, son fundamentales para la sostenibilidad y resiliencia del litoral.

Después de determinar el volumen de sedimentos desplazados y considerando las medidas detalladas en la propuesta óptima, se ofrece una estimación del impacto que esta propuesta tendría en la playa.



Figura 21. Estimación del efecto de la propuesta óptima combinados con los resultados de la hipótesis de Pelnard-Considère. Nota: las nuevas infraestructuras se representan en color naranja, mientras que la posición estimada de la línea de costa en color amarillo.

El propósito de estas medidas combinadas es no solo mitigar la erosión, sino también aumentar la resiliencia del entorno costero frente a eventos extremos y los efectos del cambio climático. Como se discutió en el **Apartado 2.4** sobre cambio climático, las tendencias actuales no permiten prever con precisión cómo evolucionará la situación en la zona de estudio. Por esta razón, esta área se incluirá en un plan de monitoreo (Programa de Vigilancia Ambiental), con el fin de estimar la tendencia específica de la playa en el futuro cercano y planificar las acciones correctivas necesarias.

8. PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.

El objetivo principal del plan de vigilancia ambiental es garantizar que las actividades de regeneración y defensa costera se realicen de acuerdo con las normativas ambientales vigentes y se minimicen los efectos negativos sobre el ecosistema marino y costero. Teniendo en cuenta que la propuesta óptima elegida consiste en la colocación de un arrecife artificial, el cambio de forma de los espigones de los tres primeros tramos, y la realización de aportes de arena, este plan incluye la monitorización continua de diversos indicadores ambientales, así como la consideración de los efectos del cambio climático en el litoral benicense previamente mencionados, además de la evaluación periódica de los resultados obtenidos y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario.

- Monitoreo de la biodiversidad marina.

Se realizará un seguimiento de la fauna y flora marina en la zona donde se ha instalado el arrecife artificial (Unidad morfológica 3) y modificado la forma de los espigones (Unidades morfológicas 1, 2, y 3) para evaluar el impacto en el ecosistema marino y la posible colonización de especies.

Este monitoreo se realizará semestralmente para evaluar la evolución de la colonización de especies tanto en el arrecife como en los espigones. Se han elegido los meses de junio y diciembre para este monitoreo, abarcando periodos de actividad reproductiva y evaluación preinvernal. Para ello se utilizarán métodos de muestreo visual (censos visuales) con el fin de

registrar la presencia y abundancia de especies tanto en el arrecife como en los nuevos tramos de espigones. Si se detecta alguna anomalía (declive en la biodiversidad, la presencia de especies invasoras, etc) se deberá plantear una actuación para solucionarlo, como puede ser la restauración de hábitats dañados, o posibles modificaciones del diseño o ubicación del arrecife y espigones.

El monitoreo deberá ser realizado por investigadores especializados o por personal técnico con la capacitación adecuada.

- Control de la calidad del agua.

Se llevará a cabo el monitoreo de la calidad del agua en la zona afectada por el arrecife artificial y los nuevos espigones para detectar posibles cambios en los parámetros físico-químicos y biológicos.

Se recomienda realizar análisis de la calidad del agua de forma regular, en este caso una vez cada trimestre, para detectar posibles cambios en los parámetros ambientales. Estos controles tendrán lugar en los meses de marzo, septiembre y diciembre, cubriendo variaciones estacionales. Para esto, se tomarán muestras en diferentes puntos para analizar pH (debe estar entre 6,5 y 8,5), oxígeno disuelto (superior a 4 mg/l), nutrientes (fósforo total no debe superar los 2 mg/l), y metales pesados y contaminantes orgánicos, cumpliendo con el Real Decreto 1341/2007 sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

Todos estos controles se llevarán a cabo con la periodicidad descrita en el anexo IV y siguiendo las especificaciones del anexo V, y los resultados obtenidos se emplearán para elaborar la serie de datos sobre la calidad de las aguas de baño.

- Evaluación de la erosión costera.

Se evaluará el efecto de las nuevas estructuras en la dinámica costera y en la erosión de la playa, considerando la redistribución de sedimentos y posibles cambios en la morfología de la costa. En esta evaluación de la erosión se considerarán los factores climáticos desarrollados en el **Apartado 2** para entender plenamente las causas de la variación en la anchura de la playa.

La metodología de evaluación consistirá en un análisis detallado de los cambios en la línea de costa. Para ello, se llevará a cabo una medición precisa de la posición de la línea de costa en intervalos regulares de 200 metros a lo largo de toda la playa. Esta frecuencia de medición permitirá obtener una visión comprensiva de cómo se ha desplazado la línea de costa en diferentes secciones de la playa y permitirá identificar áreas específicas que requieren atención especial.

Los datos recopilados durante estas evaluaciones anuales servirán para planificar y diseñar medidas correctivas adecuadas con el objetivo de mitigar la erosión costera y optimizar la gestión de la playa. La información obtenida ayudará a ajustar las estrategias de protección y restauración antes del inicio de la próxima temporada de verano, asegurando que las intervenciones sean efectivas y estén basadas en una comprensión actualizada y precisa de la dinámica costera en la zona.

Esta evaluación deberá ser realizada por ingenieros costeros o personal especializado en estudios de morfología costera.

- Evaluación de la eficacia de las medidas.

Se llevará a cabo un análisis de la eficacia del arrecife y los nuevos tramos de espigón en la protección costera y la mejora de la biodiversidad marina con el fin de ajustar las medidas en caso necesario.

Para analizar el impacto de las nuevas estructuras se realizará una evaluación cada dos años en abril, permitiendo una evaluación a medio plazo después del invierno y antes del verano, observando efectos a largo plazo de las estructuras. Este análisis debe ser llevado a cabo por un equipo multidisciplinario que abarque diversas áreas de especialización, incluirá a expertos en biología marina y oceanógrafos. Además, se contará con especialistas en pesca que evaluarán los efectos de las medidas en las poblaciones de peces y otros recursos marinos.

	2025			2026			2027			2028		
	1r Cuatri	2o Cuatri	3r Cuatri	1r Cuatri	2o Cuatri	3r Cuatri	1r Cuatri	2o Cuatri	3r Cuatri	1r Cuatri	2o Cuatri	3r Cuatri
Monitoreo de la biodiversidad marina												
Control de la calidad del agua												
Evaluación de la erosión costera												
Evaluación de la eficacia de las medidas												

Figura 22. Resumen de las medidas adoptadas por el Plan de Vigilancia Ambiental en la playa Heliópolis y su frecuencia de evaluación.

9. CONCLUSIÓN.

Tras un exhaustivo análisis de la situación actual de la playa Heliópolis, se ha identificado que las intervenciones pasadas han tenido un impacto negativo en su entorno, especialmente en la pérdida de arena y la reducción de la anchura de la playa en el sector sur del municipio. Estos problemas han generado la necesidad de buscar soluciones que no solo restauren la playa, sino que también promuevan su conservación a largo plazo y su integración armoniosa en el entorno natural.

Como se ha comentado a lo largo del este estudio, los datos de temperaturas y precipitaciones muestran una tendencia hacia el calentamiento atribuida al cambio climático, con un incremento constante a pesar de algunas disminuciones esporádicas. Las precipitaciones anuales han disminuido significativamente desde 1997, indicando un ambiente más seco. Además, el nivel del mar ha aumentado gradualmente, lo que ha incrementado la frecuencia y severidad de eventos extremos, contribuyendo a la erosión costera y a la reducción del ancho de las playas.

Por otro lado, las playas de Benicasim han crecido notablemente debido a actividades recreativas y turísticas, impulsando la economía local y fomentando el desarrollo inmobiliario.

Sin embargo, el turismo intensivo ha acentuado la erosión costera y la pérdida de arena. Durante la temporada alta, la presencia continua de visitantes puede alterar el hábitat de especies locales y afectar la biodiversidad, reduciendo la capacidad de la playa para recuperarse de fenómenos naturales.

Los resultados del análisis de la dinámica litoral en la playa Heliópolis identifican que los principales factores responsables de la erosión costera son el déficit de aportes sedimentarios y la acción del oleaje. La playa actualmente enfrenta una carencia significativa de sedimentos naturales, lo que requiere la implementación de aportaciones adicionales de arena para conservar su anchura y funcionalidad. El patrón de transporte litoral en esta área contribuye a la acumulación de sedimentos en el lado norte de los espigones, mientras que en el lado sur se produce una erosión notable. Esta distribución desigual de sedimentos se debe en parte a la influencia de los espigones, que alteran el flujo natural de sedimentos a lo largo de la playa. Además, la acción del oleaje y las corrientes marinas desempeñan un papel fundamental en los procesos de erosión y sedimentación, afectando de manera significativa el perfil costero.

Es relevante mencionar que, conforme al diagnóstico realizado, se solicitó información a la Dirección General de Costas sobre los aportes de arena realizados en la playa Heliópolis a lo largo de los años, con el fin de obtener datos adicionales para un análisis más detallado. Sin embargo, hasta la fecha no se ha recibido respuesta a esta solicitud, lo que ha impedido disponer de información crucial para una evaluación más completa y precisa de la situación.

Para enfrentar estos problemas se han propuesto una serie de alternativas, entre las que se ha elegido la más adecuada en base a los criterios funcionales, medioambientales, y estéticos previamente establecidos. La propuesta óptima, la Alternativa 6.3, se destaca por su enfoque integral y equilibrado. En primer lugar, se ha evaluado su eficacia funcional, demostrando ser la alternativa más efectiva para abordar los desafíos identificados, como la protección y mantenimiento de la playa, ya que, por una parte, los arrecifes artificiales actuarían como barreras contra la erosión (disminuyen la energía de las olas), además la combinación de esta actuación junto a los aportes de arena y los espigones en forma de conseguiría que la arena aportada se quedara entre cada uno de los tramos, evitando así las pérdidas de esta. Además, se ha considerado su sostenibilidad ambiental, priorizando la minimización de impactos negativos y la promoción del desarrollo sostenible a largo plazo. Por último, se ha valorado su armonía estética, asegurando que la propuesta se integre visualmente de manera positiva en el entorno natural y paisajístico de la playa Heliópolis.

A pesar de que la Alternativa 6.3 presenta un coste inicial elevado, se ha destacado su eficiencia a largo plazo y su capacidad para equilibrar funcionalidad, sostenibilidad y estética. Esta alternativa se posiciona como la mejor opción para abordar de manera integral los problemas que enfrenta la playa Heliópolis, garantizando su restauración, protección y conservación a lo largo del tiempo.

En conclusión, se puede afirmar que se han alcanzado los objetivos planteados al inicio del trabajo, ya que esta alternativa no solo aborda de manera efectiva los problemas identificados en la playa, como la pérdida de arena y la disminución de su anchura, sino que también se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la comunidad internacional, como la promoción de un entorno saludable (ODS 3), el mantenimiento de la calidad del agua (ODS 6), el fomento del turismo sostenible (ODS 8), la planificación urbana sostenible (ODS 11), la protección de la vida submarina (ODS 14) y la conservación de los ecosistemas terrestres (ODS 15).

En resumen, la implementación de la Alternativa 6.3 no solo cumple con los objetivos establecidos al inicio del trabajo, sino que también demuestra un compromiso efectivo con la sostenibilidad ambiental, la conservación del entorno natural y el bienestar de la comunidad

local, alineándose con los principios y metas de los ODS establecidos por la comunidad internacional.

10. RELACIÓN CON LOS ODS DE LA AGENDA 2030.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada por las Naciones Unidas en 2015, incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS) con el propósito de erradicar la pobreza, proteger el medio ambiente y asegurar la paz y la prosperidad para todos. Entre estos objetivos, el ODS 3, el ODS 6, el ODS 8, el ODS 11, el ODS 14, y el ODS 15 guardan una estrecha relación con este estudio.



Figura 23. *Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030) relacionados con el presente estudio.*

Proteger y mejorar la playa no solo promueve la salud y el bienestar de la comunidad original (ODS 3), sino que también contribuye al crecimiento económico mediante el turismo sostenible (ODS 8). Asimismo, al mantener la calidad del agua y prevenir la contaminación, se apoya el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento). La gestión adecuada de la erosión también fomenta comunidades sostenibles y resilientes (ODS 11) al proporcionar espacios seguros y promover la cohesión social. Además, las acciones contra la erosión benefician la biodiversidad marina (ODS 14) y protegen los ecosistemas terrestres adyacentes (ODS 15), asegurando la conservación de la flora y fauna locales.

En conjunto, abordar estos desafíos no solo mejora el entorno natural y socioeconómico de Benicàssim, sino que también contribuye al avance hacia un desarrollo más sostenible y resiliente, alineado con los principios y metas de los ODS establecidos por la comunidad internacional.

11. BIBLIOGRAFÍA.

Ayuntamiento de Benicàssim (2023, 9 mayo). *Benicàssim distribuye 15.000 m³ de arena en la zona sur del municipio a la espera de una solución a largo plazo de Costas* <<https://ayto.benicassim.es/noticia/benicassim-distribuye-15-000-m3-de-arena-en-la-zona>

[sur-del-municipio-a-la-espera-de-una-solucion-a-largo-plazo-de-costas/](#)> [Consulta: 10 de febrero de 2024]

Ayuntamiento de Benicasim. Decreto 2102 de 2021, Expediente 5153. Aprobación Plan de Seguridad y Salud de la obra "Aporte arena y mejoras en Playa Heliópolis". [Consulta: 10 de febrero de 2024]

Ayuntamiento de Benicasim. (2024, 20 junio). *Infraestructuras y servicios de las playas del municipio de Benicasim*. <<https://ayto.benicassim.es/playas/#infraestructuras-servicios>> [Consulta: 15 de marzo de 2024]

Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado. Clima medio de oleaje: Nodo SIMAR 2085120 <[Nodo SIMAR 2085120.pdf](#)> [Consulta: 10 de junio de 2024]

Benicasim, Vista general (1940). Repositorio Universitat Jaume I, Castellón. <<repositori.uji.es>> [Consulta: 27 de junio de 2024]

Benicasim, Voramar (1930). Repositorio Universitat Jaume I, Castellón. <<repositori.uji.es>> [Consulta: 27 de junio de 2024]

Cerdán Pérez M. A., Ginés Llorens, F. (2023). *Problemas que actualmente presenta la Playa del Heliópolis de Benicàssim, diferencias con las playas de la zona norte y análisis de sus causas* (Estudio). Castellón: Universitat Jaume I <<http://hdl.handle.net/10234/202181>> [Consulta: 5 de marzo de 2024]

España. Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino. Costas. BOE, 31 de diciembre de 2012, núm. 317, p. 108464 a 108488.

España. Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas. BOE, 11 de octubre de 2014, núm. 247.

España. Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. BOE, 1 de enero de 2008, núm. 257, p. 43620 a 43629.

Gayo Romero, J. L. (1998). *Arrecifes artificiales: estructuras llenas de vida*. Informes De La Construcción, 50(458), 5–16. <<https://doi.org/10.3989/ic.1998.v50.i458.875>> [Consulta: 3 de junio de 2024]

Generalitat Valenciana. *Visor cartogràfic de la Generalitat*. <<https://visor.gva.es/>> [Consulta: 27 de julio de 2024].

Google Earth. *Visor Google Earth*. <<https://g.co/kgs/QTQxbGn>> [Consulta: 27 de julio de 2024].

London Convention and Protocol/UNEP (2009). *London Convention and Protocol/UNEP. Guidelines for the Placement of Artificial Reefs*. London, UK, 100 pp. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/London_convention_UNEP_Low-res-Artificial%20Reefs.pdf> [Consulta: 30 de mayo de 2024]

Navionics. *Navionics ChartViewer*. <<https://webapp.navionics.com/>> [Consulta: 27 de julio de 2024].

Nebot Gómez, P. (2015). Ordenación de la playa del cabanyal y de la malvarrosa (TM Valencia, Valencia). Proyecto de arrecife artificial, plataforma flotante y canal de botadura y varada.<<http://hdl.handle.net/10251/56654>> [Consulta: 17 de junio de 2024]

Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. *Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria.* <[GLOB_2_3_3651.pdf](#)> [Consulta: 27 de julio de 2024].