

## DONOSTIA SE ADAPTA

La comunidad científica no tiene duda sobre la evidencia del cambio climático y sobre el hecho de que las actividades humanas siguen teniendo repercusión sobre el clima de la tierra, y como tal, se recoge en el Quinto Informe del IPCC, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

Asimismo, hay un consenso generalizado sobre la urgencia del problema, sobre la necesidad de actuar en diferentes frentes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se están emitiendo a la atmósfera. Sin embargo, no basta con esto. Es igualmente urgente adoptar medidas para la adaptación, para amortiguar el impacto de las amenazas climáticas y preparar a las ciudades, a los sistemas económicos y a la sociedad en general ante un escenario de cambio climático cuyas consecuencias estamos ya sufriendo.

El Ayuntamiento de San Sebastián lleva más de una década abordando la problemática del cambio climático. Desde el año 2008, con la aprobación del primer Plan de Lucha contra el Cambio Climático, hasta la fecha, con la reciente aprobación del Plan Klima 2050, se ha avanzado mucho, no solo en planificación y adopción de medidas, sino también en la elaboración de estudios y en la generación de conocimiento. Y es que, por su propia naturaleza, y porque el objetivo final es anticiparse a impactos previstos, las políticas de adaptación al cambio climático guardan una incertidumbre que, en ocasiones, dificulta la toma de decisiones. Es por eso que cuanto más precisos sean los estudios y cuanto más se avance en esta línea de trabajo, más certeras serán las predicciones y más acertada la planificación de medidas.

En 2017 se aprobó el Plan de Adaptación al Cambio Climático, un documento de referencia que, partiendo de un exhaustivo y minucioso análisis de vulnerabilidad y riesgos, define un total de 31 medidas orientadas a mejorar la respuesta del municipio ante los impactos del cambio climático.

Uno de los puntos fuertes de este trabajo fue la creación de la Comisión Interdepartamental de Adaptación al Cambio Climático del Ayuntamiento, constituida por los siguientes departamentos: Medio Ambiente, área de Proyectos y Obras, Urbanismo Sostenible, Servicio de Prevención, Extinción de incendios y Salvamento, Mantenimiento y Servicios Urbanos, Fomento de San Sebastián, Área Bienestar Social y Plan Estratégico. Esta Comisión se ha mantenido activa, ejerciendo un papel tractor del Plan de Adaptación y contribuyendo al impulso de las acciones que en él se recogen.

En este contexto surge el Proyecto “Donostia se Adapta”, que cuenta con varias acciones derivadas del Plan de Adaptación y encaminadas a mejorar la capacidad adaptativa de la ciudad ante las amenazas climáticas previstas. El Proyecto cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica.

El objetivo final de “Donostia se Adapta” es avanzar en la adaptación del municipio ante los efectos del cambio climático, en coherencia con las prioridades establecidas en el Plan de Adaptación (aprobado en 2017).

El Proyecto se ha estructurado en torno a cuatro ejes de trabajo:

- Estimación de los impactos del cambio climático en las playas del municipio
- Mejora de la información para la toma de decisiones
- Análisis del impacto del cambio climático en los servicios e infraestructuras críticas del municipio
- Estudio hidráulico e hidrológico de las regatas y vaguadas del Polígono 27

A continuación, se realiza una descripción sintética del trabajo realizado por cada uno de los cuatro ejes, detallando el alcance de las tareas y las principales conclusiones extraídas:

## 1. Estimación de los impactos del cambio climático en las playas del municipio

El análisis sobre la vulnerabilidad y el riesgo que presenta el municipio ante los efectos del cambio climático, realizado en el marco del Plan de Adaptación al Cambio Climático de San Sebastián (2017) ya adelantaba que el efecto del oleaje y la subida del nivel del mar podían tener un efecto importante sobre la morfología de las playas, uno de los activos más importantes del municipio. Se ha considerado por tanto prioritario ahondar en el conocimiento de esta materia, contar con información de mayor precisión y predicciones más certeras que faciliten una toma de decisiones más acertada en aras a paliar, en la medida de lo posible, los principales efectos previstos.

El alcance del estudio ha comprendido las playas de La Concha, Ondarreta y la Zurriola así como la playa de la Isla Santa Clara. Las playas de Ondarreta, Santa Clara y La Concha se encuentran dentro de la bahía de la Concha en el extremo oeste de la ciudad. La playa más occidental es la de Ondarreta mientras que la parte oriental está ocupada por la playa de La Concha. La playa de Santa Clara se encuentra en la Isla de Santa Clara en el centro de la bahía. El tamaño de grano en estas playas es de 0,28 mm clasificado como arena media. La playa de La Zurriola se encuentra en el extremo este de la ciudad. Se trata de una playa encajada cuyos extremos están delimitados por un rompeolas (que la separa del río Urumea) al este y por el monte Ulía al oeste. Presenta un tamaño de grano 0,42 mm clasificado como arena media. Existe un gradiente positivo de tamaño de grano hacia el este. Tanto las playas que se encuentran en la bahía de La Concha como la playa de La Zurriola presentan un régimen de pendiente dinámica, siendo esta menor en invierno que en verano.



Figura 1. Localización y características generales del área de estudio. Las líneas rojas en la imagen central (a) delimitan la localización de las playas de estudio. Las imágenes b, c, d y e, muestran de manera detallada las playas de Ondarreta, Santa Clara, La Concha y La Zurriola respectivamente.

En lo que se refiere a cuestiones metodológicas, cabe señalar que para el análisis de la hidrodinámica costera se han aplicado las metodologías y herramientas desarrolladas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria), mientras que la morfodinámica costera se ha obtenido aplicando el modelo de evolución de línea de costa desarrollado por investigadores de la Universidad de Florida (Miller y Dean 2004).

Entre los objetivos operativos de este proyecto se encuentran:

- Aplicar una metodología que permita estimar la influencia del cambio climático en las condiciones de oleaje a pie de playa.
- Aplicar una metodología que permita incluir la evolución de la línea de costa a futuro teniendo en cuenta la variación prevista de las condiciones nivel del mar y oleaje a pie de playa.

De este modo, una vez determinados los escenarios futuros a escala de la costa vasca, se han trasladado estos nuevos forzamientos (oleaje y nivel del mar) a la mayor resolución posible a la fachada marítima de Donostia y, conjugando estas metodologías, se ha podido estimar, no solo la posición potencial de la nueva línea de costa media en cada una de las playas, sino también su variabilidad natural entorno a la misma.

Entre las conclusiones extraídas, a modo de síntesis, cabe destacar las siguientes:

- El aumento del nivel del mar es el efecto que más incidencia va a tener a futuro en la morfología de las playas, dado que no se esperan efectos del cambio climático sobre el clima de oleaje.
- Las playas de Ondarreta y la Concha presentan una variabilidad no uniforme, en el caso de Ondarreta más acusada en la zona del Tenis (25 m) y, en el caso de la Concha, en la zona central de la playa (30 m), destacando que la zona del Pico del Loro es la que más variabilidad presenta, debido a una ligera concentración de oleaje en ese punto. Por su parte, la variabilidad de la playa de la Zurriola es la más acusada, especialmente la zona central de la misma (variabilidad media anual de 50 m), por tratarse de la playa más abierta.
- En lo que respecta al retroceso de la línea de costa, los valores medios para las playas de Ondarreta y la Concha son muy similares. El escenario más favorable indica retrocesos de 4, 7 y 14 m para los años 2030, 2050 y 2100 respectivamente, mientras que en un escenario más pesimista se estiman retrocesos de hasta 20 m para el año 2100.
- La playa de la Isla de Santa Clara presenta unos valores de retroceso inferiores, de 1, 2 y 5 m para los años 2030, 2050 y 2100, si bien, teniendo en consideración la anchura actual, esto supondría que para el año 2100 solo emergería en situación de bajamar y con una anchura del orden de la mitad a la actual.
- Por último, la playa de la Zurriola es la que presenta un retroceso de línea de costa más acusado, en torno a 1,5 veces mayor que las de Ondarreta y la Concha, con valores de 7, 11 y 24 m para los años 2030, 2050 y 2100, en el escenario más favorable y de hasta 33 m en el más pesimista.

En lo que respecta a recomendaciones de gestión para paliar los efectos previstos sobre la morfología de las playas, los que se presentan como más relevantes dada la configuración y características de las playas de la ciudad, están relacionados con la retirada, en la medida de lo posible, de elementos rígidos y reflejantes y el retranqueo y cesión de espacio en la parte alta de la playa.

Si bien hay que tener en consideración que una de las conclusiones que arroja el estudio es precisamente la necesidad de continuar con esta línea de investigación, en aras a aumentar el conocimiento del comportamiento de los arenales, especialmente en escenarios más extremos o en zonas concretas de las playas que requieren de un estudio en mayor profundidad.

Este estudio se ha realizado con la asistencia técnica del Centro Tecnológico Azti,

## 2. Mejora de la información para la toma de decisiones

Se han llevado a cabo dos actuaciones concretas con el objetivo final de avanzar en la mejora de la información disponible para prevenir situaciones de emergencia por oleaje extremo y por inundaciones y, al mismo tiempo, hacer más accesible esta información al conjunto de la ciudadanía y a agentes interesados en la materia.

Por un lado, se ha instalado un mareógrafo para medición de datos de oleaje instantáneos, que permitan afrontar situaciones de emergencia, como series estadísticas, para su análisis posterior y estudios de previsiones futuras. El mareógrafo está instalado en el puerto de Donostia y viene a completar la información que emite el detector de nivel del río Urumea en la zona de Txomin y el detector de nivel de la regata Igara, en estos dos últimos casos, está relacionado con la posibilidad de inundaciones en estas áreas.



Figuras 2 y 3. Imágenes del mareógrafo instalado en el puerto (izda.) y del medidor de nivel del río Urumea en la zona de Txomin (dcha.)

De forma complementaria, se ha desarrollado una app abierta para consultar los datos sobre el estado de las regatas del municipio, sobre el nivel del mar, calidad del aire, condiciones meteorológicas, así como avisos meteorológicos y de protección civil que servirá, además, para la toma de decisiones en situaciones de emergencia.

Asimismo, se ha adecuado el apartado web de Cambio Climático para que toda la información del proyecto, así como los resúmenes ejecutivos de las acciones estén disponibles y al alcance de todas las personas interesadas en la materia.

### **3. Análisis del impacto del cambio climático en los servicios e infraestructuras críticas del municipio**

El cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos aumentarán progresivamente sus impactos en las ciudades, y las Infraestructuras Críticas (IC), como elementos cruciales que garantizan las funciones de cualquier sistema urbano (funciones vitales de la sociedad, la salud, la seguridad, la económica o el bienestar social de las personas), se verán irremediamente afectadas.

El presente estudio surge como respuesta a la necesidad de analizar la vulnerabilidad e interdependencias de estas IC frente a las distintas amenazas climáticas, así como de otra índole, permitiendo un mejor conocimiento de algunos de los impactos indirectos o en cascada que se puedan producir, y posibilitando avanzar en la definición de nuevas estrategias y políticas de gestión y planificación de cara a aumentar la resiliencia de estas IC, así como del sistema urbano.

El objetivo principal del estudio es analizar el impacto del cambio climático (centrado en los eventos climáticos extremos de inundaciones fluviales y costeras) en determinados servicios e IC de la zona urbana del municipio de Donostia/San Sebastián, desde una perspectiva basada en un análisis espacial, que posibilite la identificación y definición de ciertos indicadores básicos generados a partir del propio análisis de interdependencias entre las distintas IC a estudio.

La primera tarea desarrollada ha sido la descripción del sistema urbano, mediante la identificación y posterior análisis de toda la información (principalmente de base espacial) relacionada con posibles infraestructuras de los servicios críticos urbanos de Donostia/San Sebastián a considerar en el análisis (p.e. electricidad, gas y telecomunicaciones, abastecimiento y saneamiento de agua, comunicaciones y transportes, servicios sanitarios, servicios municipales, etc.). Se ha prestado especial atención a las IC de los sectores de Electricidad, Gas y Telecomunicaciones, en las cuales el presente trabajo pone el foco.

El análisis y tratamiento de la toda la información espacial, así como la generación de los mapas resultantes de las redes de IC (y servicios críticos urbanos), se ha realizado a través de distintos softwares de sistemas de información geográfica (principalmente QGIS y ArcGIS).

Una vez obtenida la descripción el sistema urbano, el objetivo se ha centrado en establecer las posibles relaciones existentes entre las infraestructuras y predecir los posibles efectos en cascada que se derivarían del fallo de una (o varias) IC que pudieran afectar a otros servicios urbanos críticos, basándonos para este análisis en criterios de interdependencia por proximidad geográfica de estos servicios básicos. Para este fin, se ha llevado a cabo el análisis de las interdependencias (e intradependencias) existentes entre las IC de los servicios urbanos a estudio, analizándose las posibles dependencias entre infraestructuras dentro de cada sector crítico (p.e. subestaciones de transformación-centros de transformación), así como las posibles interdependencias entre infraestructuras de distintos servicios críticos urbanos del municipio de Donostia/San Sebastián (p.e. centros de transformación-hospitales, etc.).

Posteriormente, tras obtenerse la información espacial y definir las interdependencias entre IC en las tareas previas, se ha procedido a la identificación y tratamiento de la información espacial correspondiente a las amenazas de cambio climático, de cara a analizar su posible afección sobre IC y servicios urbanos dentro del ámbito de estudio. Se ha considerado la utilización de la cartografía fluvial y costera empleada previamente en el marco de trabajo del Plan de Adaptación al Cambio Climático de Donostia/San Sebastián (PACC-Donostia), siendo la cartografía de inundación costera y oleaje, elaborada por AZTI-Tecnalia específicamente para el PACC-Donostia, mientras que la cartografía correspondiente a inundación fluvial fue proporcionada por URA (Agencia Vasca del Agua - Gobierno Vasco).

Con la información generada a partir de las tareas anteriores se ha desarrollado el análisis de las potenciales exposiciones de las distintas infraestructuras de los sectores críticos objeto de análisis frente a las amenazas climáticas de inundabilidad fluvial y costera, así como los impactos indirectos o en cascada que se puedan producir entre las IC del ámbito de estudio de Donostia/San Sebastián. La exposición (potencial) frente a las amenazas climáticas consideradas de las infraestructuras de los sectores críticos a estudio (con especial atención a las IC de Electricidad, Gas y Telecomunicaciones) determina el punto de partida para la predicción de los posibles efectos en cascada que se derivarán del fallo de una (o varias) de estas infraestructuras críticas, y que puedan afectar a otras posibles IC urbanas de Donostia/San Sebastián, de acuerdo al marco de relaciones de interdependencias (e intradependencias) establecido previamente en tareas anteriores.

El análisis y tratamiento de la toda la información espacial de esta etapa, así como la generación de los mapas de interdependencias entre infraestructuras y servicios críticos potencialmente expuestos tanto a inundabilidad costera y fluvial, se ha realizado a través de distintos softwares de sistemas de información geográfica (QGIS y ArcGIS). Adicionalmente a los resultados de base espacial, en la figura 4 se pueden observar los resultados de las potenciales interdependencias entre IC, según flujograma generado para inundación costera/oleaje y fluvial.





Figura 4. Flujogramas de potenciales interdependencias entre IC: Inundación costera-& fluvial.

Complementariamente al análisis del impacto del cambio climático en servicios e infraestructuras críticas de la zona urbana del municipio de Donostia/San Sebastián, se incluye en este estudio la identificación y definición de una batería de indicadores básicos (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa), que puedan ser de utilidad para su consideración en la realización de futuros estudios y/o análisis de la vulnerabilidad-riesgo del sistema urbano y/o los servicios críticos municipales. Para la definición de estos indicadores (así como también para información de tareas previas, como la codificación de información espacial relacionada con IC) se ha tomado como referencia las unidades de análisis (unidades menores) consideradas en el marco de trabajo del PACC-Donostia, intentando mantener, en la medida de lo posible, la trazabilidad de toda la información utilizada en este estudio con el marco de análisis llevado a cabo en el mencionado PACC-Donostia. Dentro de los indicadores resultantes, cabe mencionar que las interdependencias entre IC, desde una visión global del análisis, se concentran de manera más significativa en las unidades menores correspondientes al Área Romántica, Gros, Amara Berri y Ondarreta, incidiendo en un mayor riesgo climático sobre el que ya se ha determinado en el diagnóstico existente del plan de adaptación.

Como conclusiones del presente estudio, cabe destacar que la delimitación del alcance de los trabajos desarrollados (definición del ámbito de estudio, selección de amenazas climáticas, etc.), así como la selección de los criterios de interdependencias (proximidad geográfica) e infraestructuras críticas analizadas, ha permitido la identificación de potenciales exposiciones e interdependencias de infraestructuras frente a amenazas del cambio climático, mostrando posibles repercusiones relevantes en el propio funcionamiento del sistema urbano de Donostia/San Sebastián.

Dada la importancia que puede tener en el agravamiento del riesgo climático de determinadas unidades menores y zonas de la ciudad, sería conveniente en un futuro buscar la complementariedad con otros estudios específicos de detalle que profundicen acerca de las relaciones entre las distintas IC, (p.e. otros criterios de interdependencia,

etc.) así como implicar en el desarrollo del proyecto, en la medida de lo posible, a los propios operadores (públicos y privados) de IC y/o a los gestores de servicios críticos urbanos.

Este estudio se ha realizado con la asistencia técnica de Fundación TECNALIA Research & Innovation.

#### 4. Estudio hidrológico e hidráulico de las regatas Antoñana, Irasmoene y otras vaguadas del Polígono 27 en Donostia/San Sebastián

El estudio del funcionamiento de estas regatas desde una perspectiva de adaptación al cambio climático responde a la necesidad de mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de los cursos de agua del municipio ante eventos de inundación fluvial y pluvial por fuertes lluvias. En este caso, las regatas sobre las que se ha centrado el estudio se encuentran entre las de mayor caudal y, por tanto, su incidencia sobre la red de saneamiento ante este tipo de eventos puede ser mayor que en otras regatas o cursos de agua del municipio.

En primer lugar, se ha planteado una primera fase hidrológica, en la cual se han calculado los hidrogramas de avenidas para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones de lluvias. A posteriori, en una segunda fase más centrada en el comportamiento hidráulico de la zona objeto de estudio, se ha modelizado el comportamiento de esas avenidas en la red general del propio Polígono y se han añadido los diferentes nodos, las aportaciones de agua pluvial y las intercuenas que drenan a las parcelas y viales del Polígono.



Figura 5. Sistema de cuencas modelizado



A la hora de identificar las cuencas que vierten a la regata Antoña, se han separado las rurales de las urbanas, dado que se considera que tienen un comportamiento diferente y que han de ser modelizados de una forma diferente.

Esto ha conllevado la realización de dos modelos matemáticos. Mediante el primero de ellos (el HEC HMS) se ha analizado el comportamiento de las subcuencas rurales, teniendo en cuenta parámetros como la infiltración, la transpiración y la evapotranspiración: con el segundo modelo (EPASWMN) se han calculado los hidrogramas de las cuencas urbanas y de las intercuenas rurales que aportan agua a las cuencas urbanas, que tienen un comportamiento hidrológico mucho más sencillo; y por último, mediante el mismo modelo (EPASWMN) se ha realizado la modelización hidráulica del sistema, y se han obtenido los resultados a nivel de láminas de agua, tubos sobrecargados, pozos de registro por lo que sale el caudal hacia la calle, etc.

Para la realización de los cálculos hidráulicos e hidrológicos se han empleado los modelos matemáticos HEC HMS y el EPASWMN, con su soporte GIS (GISWATER). Esto se realiza de forma que el primero de ellos analiza las avenidas que se generan en las cuencas rurales o naturales y determina los hidrogramas de entrada en la red de drenaje del Polígono 27. Después, con el EPASWMN, en primer lugar, se han obtenido los hidrogramas generados en las cuencas meramente urbanas y en las intercuenas rurales que quedan entre las cuencas previamente definidas y que en general drenan de forma lineal a lo largo de las parcelas industriales. Con todo ello, se ha calculado la red entera, tanto con los hidrogramas generados en las cuencas rurales como con los generados en las cuencas urbanas.

En esta segunda modelización, una modelización hidráulica, se han obtenido todos los parámetros necesarios relacionados con el funcionamiento de las diferentes coberturas existentes en el Polígono y con los colectores de pluviales existentes para diversos periodos de retorno y diversas duraciones de lluvia dentro de un periodo de retorno dado.



Figura 6. Red de colectores modelizada

Esta red tiene un total de 53 nodos donde existen colectores de 400 mm de diámetro o mayores, por lo que se modeliza de una forma tanto las coberturas de las siete regatas estudiadas como la red de colectores del Polígono 27.

Para los hidrogramas de las siete cuencas naturales definidas se han modelizado las avenidas de 10, 25, 100 y 500 años, con lluvias de 30, 60 y 90 minutos de forma que se han realizado 12 modelizaciones del estado actual de la red de drenaje de la regata Antoñana y de todos sus afluentes que están cubiertos a lo largo del Polígono 27 así como de la red de colectores más importantes del Polígono.

Se detallan a continuación las principales conclusiones del estudio:

- La red funciona adecuadamente para las avenidas de 10 años de periodo de retorno, que era el criterio de diseño de las redes de saneamiento hasta la incorporación de la variable de cambio climático.
- La red funciona correctamente para el periodo de retorno de 25 años, si bien algunos tramos de colectores se ponen en carga, sin llegar a desbordar por los pozos de registro, salvo uno de los colectores, para el cual se propone modificar el diámetro de sus pozos.
- Para las lluvias correspondientes a 100 años de periodo de retorno los problemas que se crean desde el punto de vista de capacidad hidráulica son los mismos que en el caso anterior, si bien los tramos con tuberías en carga son más numerosos, pero sin llegar a crearse nuevos puntos de rebose por inundación.
- En el caso de lluvias asociadas a periodos de retorno de 500 años, la problemática es similar, pero en este caso aparecen problemas de capacidad hidráulica en dos regatas, una de ellas correspondiente con los tramos cubiertos de la regata Irasmoe. En este caso el problema es mayor ya que, en teoría, la regata no puede entrar por la cobertura actual y salta por encima de la urbanización.

Cabe remarcar que, en base a estas conclusiones, se ha realizado una nueva modelización que ha permitido corregir las deficiencias de capacidad detectadas.

Este estudio se ha realizado con la asistencia técnica de la Ingeniería Salaberria.

Con el apoyo de:

