



Cooperación
Española
CONOCIMIENTO/INTERCOONECTA

GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA



Este documento se generó en el marco del **Proyecto de Conocimiento para el Desarrollo (PCD) sobre Gestión de Riesgos vinculados al Cambio Climático en Zonas Costeras de América Latina y el Caribe** financiado por la AECID.

AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO (AECID)

Centro de Formación de la Cooperación Española en La Antigua Guatemala (CFCE Antigua)

Dirección del Centro: **Jesús Molina**

Coordinación del Área de Formación: **María Luisa Aumesquet**

Autores principales

España

Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria)

- **Iñigo J. Losada**, Director de investigación.
- **Pedro Díaz**, Investigador.
- **Miriam García**, Investigadora, LANDLAB-Laboratorio de Paisajes
- **Alexandra Toimil**, Investigadora.
- **Saúl Torres**, Investigador.
- **Iñigo Aniel-Quiroga**, Investigador.

Países Bajos

Anexo 9: “Análisis de las situaciones de vulnerabilidad y riesgos con enfoques de género, interculturalidad e intergeneracional en zonas costeras”

- **Ana Rojas**, Consultora independiente.

Autores contribuyentes

Chile

Estudios de riesgo de CC en las costas de Chile.

Patricio Winckler, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso.

Costa Rica

Monitoreo participativo de la erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica.

Gustavo Barrantes, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica.

Ecuador

Generación de proyecciones oceánicas futuras bajo escenarios de CC para el fortalecimiento de la acción climática en los mares y océanos de Ecuador.

Rosa González, Nicolás Zambrano y Pablo Caza, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

México

Buenas prácticas de Adaptación. Establecimiento del contexto local y regional para la implementación de AbE en la zona costera del Golfo de México.

Erwin Martí, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Perú

Incorporando la adaptación al CC en la infraestructura pesquera en Perú.

Rogger Morales, Dirección General de Cambio Climático y Desertificación, Ministerio del Ambiente.

Giancarlo Ríos, Dirección General de Asuntos Ambientales Pesqueros, Ministerio de la Producción.

República Dominicana

Evaluación del impacto del CC en zonas costero-marinas de República Dominicana y propuestas de medidas de adaptación.

Carol Franco y Laura Rathe, Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

Uruguay

La adaptación costera en Uruguay a través de un monitoreo compartido.

Mónica Gómez, Ministerio de Ambiente.

Generando capacidades para la adaptación al CC en la zona costera de Uruguay.

Sebastián Solari y Rodrigo Alonso, Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la Republica.

Revisores

Chile

Patricio Winckler, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica. Universidad de Valparaíso

Cristian Pérez, Organización Global Nomad

Roberto Agredano, Universidad de Valparaíso

Gladys Santis, Ministerio del Medioambiente

Manuel Contreras, Universidad de Valparaíso

Costa Rica

Vladimir Naranjo, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

Cuba

Sergio Lorenzo, Jorge Oliveira y Claudia Cruz, Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), Agencia de Medioambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.

Osvaldo E. Pérez López y Frank E. Ortega Pareira, Centro de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología, Agencia de Medioambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.

Enrique Pérez y Amilcar Calsada, Agencia de Medioambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.

Ecuador

Rosa González y Jorge Núñez, Ministerio del Ambiente y Agua

Edgar Cervantes, Escuela Superior Politécnica del Litoral

Leonor Vera, Instituto de Oceanografía y Antártico de la Armada

El Salvador

Guillermo Navarrete, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

México

Erwin Martí, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Perú

Jorge Tam, Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

República Dominicana

Gladis Rosado, Centro de Investigaciones de Biología Marina (CIBIMA)

Joan Emely, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Andrés Campusano, Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET)

Bienvenido Santana, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Uruguay

Federico Steffenino, Intendencia de Maldonado

Sebastián Solari, Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

Diagramación: **Rosario González Z.**

Guatemala, junio 2023

AECID

© Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

Av. Reyes Católicos 4, 28040 Madrid, España

GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA

2023

Autor Principal Coordinador: Iñigo J. Losada

Autores Principales: Pedro Díaz, Miriam García, Ana Victoria Rojas, Alexandra Toimil,
Saúl Torres, Iñigo Aniel-Quiroga

Como citar documento: AECID (2023). Guía para el análisis de riesgos y la adaptación al cambio climático en la costa.

CONTENIDO

BLOQUE 0:	30
PRESENTACIÓN	30
PRÓLOGO	30
AGRADECIMIENTOS	33
ANTECEDENTES. EL PROYECTO DE CONOCIMIENTO	33
DESARROLLO CONCEPTUAL DE LA GUÍA	34
 BLOQUE 1:	 35
CÓMO USAR ESTA GUÍA	35
SOBRE LA GUÍA	35
¿CÓMO SE APLICA?	38
 BLOQUE 2:	 42
FASES DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	42
INTRODUCCIÓN	42
 FASE I. PREPARACIÓN	 43
Paso 1 Establecimiento del contexto	44
Paso 2 Formulación de objetivos y resultados esperados	45
Paso 3 Formación del equipo de trabajo, análisis de recursos disponibles y capacidades	46

Paso 4 Determinación del alcance y metodología.....	52
Paso 5 Establecimiento de los horizontes temporales, escenarios a considerar y línea base.....	64
Paso 6 Establecimiento del proceso de participación (selección de agentes involucrados).....	75
Paso 7 Recopilación de la información relevante.....	76
Paso 8 Establecimiento del plan de trabajo	77
FASE 2. ANÁLISIS DE RIESGOS	79
FASE 2A. ANÁLISIS DE RIESGOS- NIVEL I	80
Paso 1 Identificación del sistema, subsistemas e interrelaciones externas (exógenas).....	81
Paso 2 Identificación de impactos y cadenas de impacto	85
Paso 3 Recopilación de información histórica de impactos	99
Paso 4 Análisis de sensibilidad a agentes climáticos. Umbrales.....	103
Paso 5 Análisis del riesgo percibido.....	109
Paso 6 Evaluación cualitativa del riesgo basado en criterio experto	113
Paso 7 Evaluación de la capacidad adaptativa.....	116
Paso 8 Análisis y comunicación del riesgo.....	131
FASE 2B. ANÁLISIS DE RIESGOS - NIVEL 2.....	133
Paso 1 Identificación y selección de indicadores.....	135
Paso 2 Selección y evaluación de indicadores para caracterizar las amenazas-peligrosidad.....	138
Paso 3 Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la exposición.....	139
Paso 4 Selección y evaluación de indicadores para caracterizar los impactos.....	145

Paso 5	Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la vulnerabilidad.....	162
Paso 6	Selección y evaluación de indicadores para caracterizar los riesgos/consecuencias.....	165
Paso 7	Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la capacidad adaptativa.....	175
FASE 2C. ANÁLISIS DE RIESGOS- NIVEL 3.....		184
Paso 1	Identificación y elaboración de diagramas de riesgo.....	186
Paso 2	Caracterización de las amenazas-peligrosidad. Regionalización.....	190
Paso 3	Caracterización de la exposición. Regionalización.....	211
Paso 4	Caracterización de los impactos. Selección de los modelos de impacto.....	215
Paso 5	Caracterización de la vulnerabilidad. Funciones de daño.....	246
Paso 6	Cálculo del riesgo y consecuencias. Identificación de daños esperados y oportunidades.....	250
Paso 7	Evaluación de la capacidad adaptativa.....	254
FASE 2D. ELEMENTOS COMUNES LOS 3 NIVELES.....		260
Paso 1	Interpretación y evaluación de los resultados.....	261
Paso 2	Análisis de las implicaciones intersectoriales.....	263
Paso 3	Análisis de incertidumbres.....	264
Paso 4	Evaluación independiente.....	272
Paso 5	Formulación de resultados y plan de comunicación.....	273
FASE 3. ADAPTACIÓN.....		280
Paso 1	Preparación.....	286
Paso 2	Evaluación o actualización del análisis de riesgo.....	297

Paso 3	Selección de estrategias y medidas de adaptación	299
Paso 4	Evaluación de la reducción del riesgo.....	319
Paso 5	Evaluación económica, social y ambiental de las medidas, y toma de decisiones	321
Paso 6	Redacción del plan de adaptación.....	334
Paso 7	Plan de implementación.....	336
Paso 8	Plan de seguimiento.....	338
Paso 9	Re-evaluación del plan de adaptación	352
Paso 10	Plan de comunicación	353
BLOQUE 3:	378
ANEXOS	378

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trayectorias de trabajo para la aplicación de la Guía	40
Figura 2. Marco conceptual de análisis de riesgos utilizado en esta Guía	54
Figura 3. Transposición genérica del marco del riesgo para su aplicación en la costa (Adaptado de: IPCC, 2014).....	59
Figura 4. Análisis Nivel I del riesgo presente y futuro (escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a mitad y finales de siglo) en los puertos del Principado de Asturias (España) basado en criterio experto.	62
Figura 5. Análisis Nivel 2 del riesgo futuro en la operatividad de los puertos del mundo para un escenario RCP8.5 a fin de siglo (Izaguirre et al., 2021).....	63
Figura 6. Análisis Nivel 3 del riesgo de inundación sobre activos construidos en la costa de Uruguay para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en el presente, a mitad y fin de siglo.....	64
Figura 7. Descripción esquemática de la costa o zona costera	81
Figura 8. Ejemplo de ordenamiento administrativo jurídico de la costa-española.....	82

Figura 9. Relaciones entre subsistemas portuarios, impactos y variables climáticas inductoras (Losada et al. 2017).....	92
Figura 10. Representación genérica de una cadena incluyendo impactos directos e indirectos	97
Figura 11. Ejemplo de cadena de impacto originados por aumento del nivel medio del mar en una costa tropical (adaptado de: Pramova et al. 2013).....	98
Figura 12. Ejemplo de cadena de impactos asociados a los niveles del mar extremos elaborada para el análisis de riesgos del cambio climático para el Área Metropolitana de Lima (IHCantabria, 2022).....	99
Figura 13. Anuncio para la realización de un taller sobre riesgo percibido en la ejecución del Plan de Adaptación costera del área Metropolitana de Lima y algunas de las preguntas recogidas en el análisis del riesgo percibido.....	111
Figura 14. Ejemplo de dependencia tecnológica para un a solución híbrida (Spalding, 2014)....	122
Figura 15. Ejemplo de capacidad adaptativa de ecosistemas (Losada et al., 2020).....	124
Cuadro 4. Figura A. Esquema de la cota de inundación y de sus componentes sobre un perfil de playa.....	147
Cuadro 4. Figura B. Distribución espacial de la pendiente intermareal cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.....	148
Cuadro 4. Figura C. Perfilado cada 200 m de un tramo de la costa de la Comunidad Valenciana (España).....	149
Cuadro 4. Figura D. Series temporales de la cota de inundación (línea negra punteada) y de sus componentes (set-up línea roja, marea meteorológica línea azul y marea astronómica línea verde) en cuatro puntos del litoral de Cantabria (España).....	150
Cuadro 4. Figura E. Panel izquierdo: serie temporal de la cota de inundación. Panel derecho: ajuste de máximos anuales de la serie de cota de inundación en ese mismo punto.....	151

Cuadro 4. Figura F. Distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.....	152
Figura 16. Descripción gráfica de los parámetros y procesos implicados en la regla de Bruun	153
Cuadro 5. Figura A. Esquema de los tipos de transporte y el efecto que producen sobre el perfil de playa.....	156
Cuadro 5. Figura B. Representación del retranqueo del perfil de playa por efecto del nivel medio del mar de acuerdo con la Regla de Bruun (Bruun, 1962).....	157
Figura B. Representación del retranqueo del perfil de playa por efecto del aumento del nivel medio del mar de acuerdo con la Regla de Bruun (Bruun, 1962).....	157
Cuadro 5. Figura C. Distribución espacial de H_{s12} (m) en 50 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España).....	158
Cuadro 5. Figura D. Distribución espacial del retroceso (m) y la superficie de playa perdida (%) por efecto del ANMM en 50 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España).....	159
Figura 17. Ejemplo de uso de indicadores para la evaluación del riesgo (Cali et al., 2017).....	169
Cuadro 6. Figura A. Método para analizar el incremento de daños sobre activos, el incremento de pérdidas de ingresos y aumento en costes de mantenimiento.....	173
Cuadro 6. Figura B. Método para analizar los ingresos y costes de mantenimiento	173
Tabla A. Definición del nivel de riesgo económico/financiero en un puerto.....	175
Cuadro 7. Figura A. Variables geofísicas en Chile.....	180
Cuadro 7. Figura B. Metodología usada para calcular los cambios en las variables oceánicas.....	181

Cuadro 7. Figura C. Esquema de la metodología de generación de ensembles en el Océano Pacífico.....	182
Figura D: Modelo conceptual de cálculo.....	183
Figura 18. Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la inundación costera.....	187
Figura 19. Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la erosión costera ..	188
Figura 20. Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la intrusión salina en ríos y acuíferos costeros.....	189
Figura 21. Tipos de datos empleados para caracterizar la peligrosidad en función del periodo u horizonte temporal objetivo.....	190
Figura 22. Reducción de escala mediante la aplicación de técnicas de regionalización que permiten transferir información de la escala global a las escalas regional y local.....	191
Figura 23. Esquema metodológico empleado para generar las bases de oleaje regionalizadas para el estudio de riesgos de Nivel 3 de la costa del Área Metropolitana de Lima-Callao (IHCantabria, 2022)	194
Cuadro 9. Figura A. Muestra de proceso de desescalado de la población (Montevideo, Uruguay).....	213
Cuadro 10. Figura A. Distribución de actividades económicas y empleo INEGI México.	214
Figura 24. Estrategias numéricas para el estudio de la inundación a escala regional/local (Toimil et al., 2016).	217
Figura A. Efecto de las bases de datos y métodos utilizados sobre el resultado de los mapas de inundación (Menéndez et al., 2019).....	221

Cuadro 12. Figura A. Esquema de la estrategia escogida en este ejemplo para modelar la inundación costera.....	223
Cuadro 12. Figura B. Distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.....	224
Cuadro 12. Figura C. Modelo digital de terreno en la costa del Principado de Asturias (España) con las defensas incorporadas.....	225
Cuadro 12. Figura D. Zonificación de la costa de Uruguay en 13 mallas computacionales con un kilómetro de solape cada una.....	226
Cuadro 12. Figura E. Detalle de la malla de cómputo en la desembocadura del río Santa Lucía (Uruguay).....	226
Cuadro 12. Figura F. Distribución espacial de rugosidades inferidas a partir de los usos del suelo en un tramo de la costa del Principado de Asturias (España).....	227
Cuadro 12. Figura G. Detalle de la validación de la inundación asociada a la pleamar viva equinoccial en los estuarios de Cantabria (España).....	228
Cuadro 12. Figura H. Mapas de inundación en Santoña (Cantabria, España) asociados a la cota de inundación de 100 años de periodo de retorno para el año horizonte 2100 y bajo el escenario de concentraciones RCP8.5, considerando 6 modelos climáticos y 3 percentiles de la distribución del aumento del nivel medio del mar.....	229
Cuadro 13. Figura A. Localización espacial de las 57 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España) analizadas en este ejemplo.....	236
Cuadro 13. Figura B. Panel superior: ejemplo de evolución histórica de la línea de costa de 1947 a 2015 en una de las playas del Principado de Asturias (España). Panel inferior: detalle de la serie que se muestra en el panel superior desde enero a junio de 2014.....	238
Cuadro 13. Figura C. Distribución espacial del retroceso de la línea de costa a fin de siglo (R2100,m) en las 57 playas del Principado de Asturias (España) de E a O con su incertidumbre.....	239

Cuadro 13. Figura D. Ejemplo de función de distribución de la probabilidad de erosión en una de las playas de estudio para el RCP8.5 con su incertidumbre.....	240
Cuadro 13. Figura E. Panel superior: distribución espacial de la erosión de 50 años de periodo de retorno (m) a fin de siglo en las 57 playas del Principado de Asturias (España) de E a O con su incertidumbre. Panel inferior: índice de erosión asociado a la erosión de 50 años de periodo de retorno.....	241
Cuadro 14. Figura A. Ejemplificación de un caso de la erosión costera, Cieneguita de Limón (Costa Rica).....	243
Cuadro 14. Figura B. Medición de perfiles de playa realizados por PROGEA en Playa Cieneguita, frente al Aeropuertos Internacional de Limón (Costa Rica), durante 2019.	244
Cuadro 14. Figura C. Medición de perfiles de playa realizados en Playa Gandoca, a 130 m al noroeste de la entrada a la playa, durante 2018 y 2019.....	244
Figura 25. Ejemplo de funciones de daño cuantitativas genéricas.....	247
Cuadro 15. Figura A. Ejemplo curvas de daño FEMA y JRC.	249
Figura 26. Cruce del mapa de inundación asociada a la CI de 100 años de periodo de retorno, para el horizonte 2100, RCP8.5, valor medio de ANMM, con la capa de activos construidos (incluyendo el stock residencial, industrial y de servicios) (Carrasco, Montevideo).....	252
Figura 27. Representación teórica de las consecuencias producidas por eventos de diferentes periodos de retorno sobre un activo determinado para un horizonte temporal y escenario dados.....	253
Figura 28. Cascada de incertidumbre en la evaluación de impactos de cambio climático en la costa (adaptado de: Toimil et al., 2020).....	267
Figura 29. Círculo de la adaptación.....	284
Figura 30. Estrategias de adaptación en la costa de acuerdo con el AR4 y posteriores.....	301

Figura 31. Esquema de la representación adoptada para las medidas de adaptación con base en la taxonomía descrita.....	310
Figura 32. Estrategia de protección. Medidas de adaptación.....	311
Figura 33. Estrategia de avance. Medidas de adaptación.	312
Figura 34. Estrategia de acomodación. Medidas de adaptación.....	313
Figura 35. Estrategia de retroceso - Medidas de adaptación.....	314
Figura 36. Ejemplo de ficha de medida de adaptación	315
Figura 37. Aplicación de la taxonomía de medidas de adaptación al distrito de La Punta (Perú).....	320
Figura 38. Métodos de valoración de costes y/o beneficios de opciones de adaptación.....	322
Figura 39. Ejemplo de trayectorias de adaptación aplicado en el Plan de Adaptación del borde costero de La Manga del Mar Menor (España).	333
Cuadro 23. Figura A. Distribución de las localidades donde se implementarán medidas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE) y Restauración Académica (RA) en ecosistemas de manglar en la región del Golfo de México.	360
Cuadro 26. Figura A. Componentes del proceso de adaptación a la variabilidad y al cambio climático en la zona costera de Uruguay.....	376
Cuadro 26. Figura B. Flujo de incorporación de conocimiento y definiciones en la elaboración del Plan Nacional Costero (NAP Costas) (Uruguay).....	377

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase I: Preparación	43
Tabla 2. Disciplinas/capacidades mínimas recomendadas para el equipo de trabajo.....	48
Tabla 3. Diferencias fundamentales en el marco conceptual de análisis entre el AR4 y AR5.....	58
Tabla 4. Determinación de la metodología para la aplicación del marco del riesgo.....	60
Tabla 5. Escenarios resultado de la combinación de Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y Trayectorias de concentración representativas (RCP) utilizadas en el AR6 (IPCC, 2021).....	71
Tabla 6. Resumen de opciones de escenarios y horizontes temporales.....	74
Tabla 7. Resumen de la Fase I.....	77
Tabla 8. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2a:Análisis de Riesgos-Nivel I	80
Tabla 9. Sistemas y subsistemas característicos de la costa para incluir en un análisis de riesgo.....	83
Tabla 10. Ejemplos de análisis de riesgo y consideraciones para determinación de sistemas y subsistemas	84

Tabla 11. Relación entre amenazas de origen climático e impactos esperados por sectores clave en la costa	87
Tabla 12. Descripción de la relación entre el cambio en los agentes climáticos que constituyen la amenaza, sus efectos y las implicaciones e impactos sobre los diferentes elementos que constituyen la cadena de valor. (Fuente: Elaboración propia a partir de Daw et al. 2009 y WordFish Center, 2007).....	89
Tabla 13. Relación entre amenazas de origen climático e impactos esperados por ecosistemas costeros.....	93
Tabla 14. Ejemplo de aplicación de la Tabla para la recopilación de impactos históricos	101
Tabla 15. Resumen sobre las variables climáticas marinas relevantes para este estudio, los impactos derivados de sus cambios, cambios observados y proyecciones globales. (Fuente: SROCC 2019)	107
Tabla 16. Ejemplo de panel de expertos conformado para el análisis del riesgo en el Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima	115
Tabla 17. Escala para la evaluación de la capacidad adaptativa a nivel del sistema. En este caso de la Comunidad Autónoma de Murcia	125
Tabla 18. Análisis de la capacidad adaptativa realizada en un taller de expertos para el plan de adaptación de La Manga del Mar Menor (España) a escala de Comunidad Autónoma.....	125
Tabla 19. Escala para la evaluación de la capacidad adaptativa a nivel local.....	127
Tabla 20. Análisis de la capacidad adaptativa realizada en un taller de expertos para el plan de adaptación de La Manga del Mar Menor (España) a escala local.....	127
Tabla 21. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2b: Análisis de Riesgos-Nivel 2.....	135
Tabla 22. Relación entre tipología, categoría e indicador representativo propuesto por el IPCC para las fuerzas impulsoras de los impactos climáticos en la costa (IPCC, 2019).....	139

Tabla 23. Ejemplo de indicadores de exposición y variables representativas	141
Tabla 24. Ejemplos de bases de datos para la caracterización de algunos elementos de la exposición	144
Tabla 25. Ejemplos de índices de impacto de inundación.....	146
Tabla 26. Tabla resumen de tipos de índices relacionados con la erosión costera y variables de que los componen	154
Tabla 28. Ejemplos de indicadores de vulnerabilidad	162
Tabla 29. Ejemplos de indicadores de vulnerabilidad propuestos en el Anexo 6.....	163
Tabla 30. Ejemplo de umbrales para operaciones en puertos (Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM)).....	164
Tabla 31. Ejemplo de normalización de los cambios en la peligrosidad para un horizonte temporal y escenario de emisiones dados.....	167
Tabla 32. Ejemplo de normalización de la sensibilidad de un elemento expuesto para un impacto determinado	168
Tabla 33. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2c: Análisis de Riesgos-Nivel 3	185
Tabla 34. Tabla comparativa entre downscaling estadístico y dinámico.....	192
Tabla 35. Equivalencia entre las trayectorias y escenarios de los informes AR5 y AR6.....	193
Tabla 36 Resumen de las componentes del nivel medio del mar frente a los niveles de evaluación de riesgos (adaptada de Nicholls et al., 2021). Abreviaturas: GIA, ajuste isostático glacial; GRD, gravitacional, rotacional y deformacional; SSP, trayectoria socioeconómica.....	198

Tabla 37 Resumen de los procesos críticos para la estimación de las componentes criosféricas del aumento del nivel del mar por escala temporal y escenario (adaptada de van de Wal et al., 2022). Abreviaturas: SMB, balance de masa superficial; BMB, balance de fusión basal; MISI, inestabilidad de la capa de hielo marino; MICI, inestabilidad del acantilado de hielo marino.	202
Tabla I. Variables físicas y biogeoquímicas oceánicas analizadas. Se presentan los valores históricos correspondientes a cada variable en función de la disponibilidad de información. Las proyecciones se generaron a través de distinto número de GCM que disponían información para cada variable tanto para el Coupled Model Intercomparison Project en sus versiones CMIP5 y CMIP6. Los valores futuros representan la mediana de los datos (percentil 50).Alta concordancia entre el ~99% de GCM se representa como ***. Baja concordancia entre el ~50% GCM se representa como *.....	204
Tabla 38. Combinación de instrumentos de re-escalado a aplicar sobre distintos atributos de exposición.....	212
Tabla 39. Tabla resumen de tipos de modelos y ámbito de aplicación. *: sólo es posible el análisis probabilístico mediante una selección de casos representativos, su simulación y la posterior reconstrucción de toda la casuística posible.....	220
Tabla.A Diferencias obtenidas en el servicio de protección en función de los métodos y bases de datos.....	222
Tabla 40. Tabla resumen de tipos de modelos de inundación y ámbito de aplicación. *: sólo es posible el análisis probabilístico mediante una selección de casos representativos, su simulación y la posterior reconstrucción de toda la casuística posible. **: existen modelos modulares que combinan más de un modelo físico.....	234
Tabla 41. Fuentes de funciones de daño comúnmente utilizadas en análisis de riesgos.....	248
Tabla 42. Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa organizativa, formas de evaluación y de mejora.....	256
Tabla 43. Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa tecnológica, formas de evaluación y de mejora.....	257
Tabla 44. Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa financiera, formas de evaluación y de mejora.	259

Tabla 45. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2d: Elementos comunes a los tres niveles	261
Tabla 46. Fuentes de incertidumbre y posibles medidas orientadas a su tratamiento o reducción.....	268
Tabla 47. Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 3:Adaptación.....	285
Tabla 48. Ejemplo de análisis de las incidencias previsible de la Estrategia para la Adaptación de la Costa Española a los efectos de Cambio Climático sobre planes sectoriales y territoriales concurrentes.....	288
Tabla 49. Categorías de opciones de adaptación en la costa. (Fuente: modificado de IPCC (2014)).....	302
Tabla 50. Síntesis de medidas de adaptación estructurales. Factores generales que inciden en la eficacia en la reducción de riesgo costero: marea meteorológica y altura/periodo de ola, nivel del mar. (Fuente: USACE, 2013).....	304
Tabla 51. Síntesis servicios de protección de sistemas naturales y basados en la naturaleza. Las formaciones vegetales incluyen marismas, humedales y vegetación acuática sumergida. Factores generales que inciden en la eficacia de la reducción del riesgo costero: intensidad, trayectoria y velocidad de avance de la tormenta; batimetría y topografía local del entorno. (Fuente: USACE, 2013).....	305
Tabla 52. Clasificación de infraestructuras verdes y aplicaciones de América Latina (adaptado de Silva et al., 2017).....	307
Tabla 53. Síntesis de medidas de adaptación no estructurales. Factores generales que inciden en la eficacia en la reducción de riesgo costero: marco colaborativo y de responsabilidad compartida, altura de ola, nivel del mar, duración de tormenta. (Fuente: USACE, 2013)	308
Tabla 54. Indicadores incluidos en cada ficha	316
Tabla 55. Indicadores recomendados por la Estrategia España de Adaptación al Cambio Climático en la Costa	340

Tabla 56. Indicadores de seguimiento establecidos en la Estrategia Española.....344

Tabla. Criterios de filtrado de proyectos de implementación de medidas en ecosistemas de manglar usados para la identificación de aquellos que cumplen de manera específica con la adaptación basada en ecosistemas.362

Tabla. Integración de criterios para la identificación de medidas congruentes con el marco conceptual de AbE de entre 274 acciones implementadas como respuestas a ciclones tropicales, frentes fríos, lluvias intensas, sequías y olas de calos. PA – Proceso de adaptación, AbE – Marco conceptual de FEBA, Cm#-Criterio mínimo para el diseño de medidas de adaptación.363

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: En este Cuadro se muestra como ejemplo de buenas prácticas la experiencia del desarrollo del Plan Nacional de Costas de la República Oriental del Uruguay, su contexto, objetivos, entidades involucradas, estructura organizativa y aspectos específicos.....	49
Cuadro 2. Glosario de términos más relevantes utilizados en el marco de análisis de riesgos según el IPCC (Fuente: Glosario de Términos. IPCC (2014))	55
Cuadro 3. Ejemplo del uso del producto interior bruto (PIB) como un indicador de actividad económica. El valor del PIB se distribuye en celdas homogéneas de 30 km ² a lo largo de toda la costa de América Latina y Caribe.....	142
Cuadro 4. Ejemplo de cálculo de la inundación costera utilizando un análisis Nivel 2 basado en indicadores	147
Cuadro 5. Ejemplo de caracterización de la erosión costera debido al ANMM utilizando un análisis Nivel 2.....	156
Cuadro 6. Ejemplo de indicadores de riesgo económico-financiero del CC en puertos.....	170
Cuadro 7. Contribución:“Estudios de riesgo de CC en las costas de Chile”.....	176
Cuadro 8. Contribución:“Generación de proyecciones oceánicas bajo escenarios de CC para el fortalecimiento de la acción climática en los mares y océanos de Ecuador”.....	203

Cuadro 9. Ejemplo de distribución detallada de población.....	213
Cuadro 10. Ejemplo de distribución de actividades económicas geolocalizadas en Aguas Calientes México.....	214
Cuadro 11. Efecto del método de inundación y bases de datos sobre la evaluación del riesgo nivel 3.....	221
Cuadro 12. Ejemplo de caracterización del impacto de inundación costera para un análisis Nivel 3.....	223
Cuadro 13. Ejemplo de caracterización de la erosión costera nivel 3.....	235
Cuadro 14. Contribución: “Monitoreo participativo de la erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica”.....	242
Cuadro N°1 Sitios de monitoreo de ACLAC.....	245
Cuadro 15. Derivación de curvas de vulnerabilidad.....	249
Cuadro 16. Ejemplo de índice de informe sobre riesgos de cambio climático (Nivel 3) en la costa del área metropolitana de Lima.....	276
Cuadro 17. Ejemplo: el caso de España.....	282
Cuadro 18. Ejemplo Nivel I.....	324
Cuadro 19. Ejemplo Nivel II.....	325
Cuadro 20. Ejemplo Nivel III.....	329
Cuadro 21. Ejemplo Nivel III. Análisis Multicriterio.....	330
Cuadro 22. Contribución: “La adaptación costera en Uruguay a través de un monitoreo compartido”.....	346

Cuadro 23. Contribución: “Buenas prácticas de adaptación. Establecimiento del contexto local y regional para la implementación de medida AbE en la zona costera del Golfo de México”.....	357
Cuadro 24. Contribución: “Incorporando la adaptación al CC en la infraestructura pesquera en Perú”.....	365
Cuadro 25. Contribución: “Evaluación del impacto de CC en las zonas costero marinas de República Dominicana y propuestas de medidas de adaptación”.....	367
Cuadro 26. Contribución: “Generando capacidades para la planificación y la adaptación al CC en la zona costera de Uruguay”.....	374

LISTA DE ACRÓNIMOS

ABE:	Adaptación Basada en Ecosistemas
ACB:	Análisis Coste-Beneficio
AECID:	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
ALC:	América Latina y el Caribe
AML:	Área Metropolitana de Lima
ANMM:	Aumento del Nivel Medio del Mar
ARAUCLIMA:	Programa Regional de Medio Ambiente y Cambio Climático en América Latina y el Caribe
APCV:	Autoridad del Proyecto Costa Verde
CC:	Cambio Climático
CCAA:	Comunidades Autónomas
CI:	Cota de Inundación
CIBIMA:	Centro de Investigaciones de Biología Marina
CID:	Fuerzas impulsoras de los impactos climáticos (Climate Impact Driver)
CITMA:	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente
CMIP:	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DAE:	Daño Anual Esperado
DCALC:	Dirección de Cooperación con América Latina y el Caribe
DCC:	Dirección Nacional de Cambio Climático

DCMHF:	Dirección de Cooperación Multilateral, Horizontal y Financiera
DINAGUA:	Dirección Nacional de Agua
DINAMA:	Dirección Nacional de Medio Ambiente
DINOT:	Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial
DNH:	Dirección Nacional de Hidrología
DPMT:	Dominio Público Marítimo Terrestre
DRM:	Gestión de Riesgos de Desastres (Disaster Risk Management)
EAS:	Ecuaciones de Aguas Someras
CAUE:	Costo Anual Uniforme Equivalente
GCM:	Modelos de Circulación General
GEIs:	Gases de Efecto Invernadero
GEV:	Función Generalizada de Extremos
IGA:	Instituto de Geofísica y Astronomía
IMARPE:	Instituto del Mar del Perú
IMFIA:	Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental
INECC:	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INVERMET:	Fondo Metropolitano de Inversiones
IPCC:	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
MA:	Marea Astronómica
MARN:	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MDT:	Modelo Digital del Terreno
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MINTUR:	Ministerio de Turismo
MM:	Marea Meteorológica
MRV:	Monitoreo, Reporte y Verificación de Compromisos
MTOP:	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
MVOT:	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial

NAP:	Planes Nacionales de Adaptación
NAP COSTAS:	Plan Nacional de Adaptación Costera de Uruguay
NDC:	Contribuciones Nacionalmente Determinadas
OCE:	Oficina de la Cooperación Española
ONAMET:	Oficina Nacional de Meteorología
ONG:	Organización No Gubernamental
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
PCD:	Proyectos de Conocimiento para el Desarrollo
PIB:	Producto Interior Bruto
PNACC:	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PNCC:	Política Nacional de Cambio Climático
RCM:	Modelos de Circulación Regionales
RCP:	Trayectorias de Concentración Representativas
RIOCC:	Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático
ROM:	Recomendaciones de Obras Marítimas
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
SNRCC:	Sistema Nacional de Respuesta a Cambio Climático
SSP:	Trayectorias Socioeconómicas Compartidas
TIR:	Tasa interna de rentabilidad
UME:	Unidad Militar de Emergencias
VAN:	Valor Actual Neto

BLOQUE 0: PRESENTACIÓN

PRÓLOGO

En agosto de 2021, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) presentó su más reciente análisis sobre las bases científicas del cambio climático, señalando que “las pruebas de los cambios observados en fenómenos extremos como las olas de calor, las fuertes precipitaciones, las sequías y los ciclones tropicales y, en particular, su atribución a la influencia humana, se han reforzado”.⁴ El cambio climático ha puesto en evidencia la alta vulnerabilidad de los países de América Latina y el Caribe. Esta afirmación es especialmente crítica en la zona litoral donde los cambios en las dinámicas costeras exigen la implementación de medidas de adaptación ante el ascenso del nivel medio del mar y otros efectos como el retroceso de la línea de costa, el aumento de la temperatura del agua, la acidificación, la desprotección ante eventos meteorológicos extremos o las pérdidas humanas y económicas.

En este contexto, América Latina y el Caribe han asumido la urgencia de establecer planes de adaptación costera, identificando las principales amenazas en el territorio y estableciendo las medidas más adecuadas para reducir la vulnerabilidad. Los países de la región enfrentan problemas comunes en el ámbito de la gestión de riesgos y cuentan con experiencias e instrumentos, pero comparten también barreras y necesidades de conocimiento y tecnología para hacer frente a esos problemas. A la hora de evaluar el riesgo, los países de la región se enfrentan a cuestiones tales como la caracterización de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad, el modelado de impactos y de sus consecuencias sobre los sistemas socioeconómicos y naturales, la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático.

4. IPCC Sixth Assessment Report. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

La Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París sobre cambio climático, las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) o el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres exigen esfuerzos conjuntos y, en buena medida, basados en el intercambio de conocimientos y experiencias que maximicen el impacto de las intervenciones.

La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) apuesta por una cooperación

que promueva espacios de trabajo colectivos para la búsqueda conjunta de soluciones a problemas compartidos y por impulsar cambios desde las políticas públicas con un enfoque de innovación. Estos espacios, a los que llamamos de co-creación, se caracterizan además por estar conformados por actores diversos y plurales que dialoguen y aporten una perspectiva global e inclusiva de los retos que acucian a la Región, así como soluciones o prototipos más efectivos.

Esta nueva apuesta, se lleva a cabo a través de:

- El marco del Plan INTERCOONECTA, por medio del Centro de Formación de la Antigua Guatemala tiene como una de sus áreas de especialización la de Medio Ambiente y Cambio Climático por lo que sus acciones se dirigen, fundamentalmente, a favorecer una transición verde justa, donde uno de los instrumentos más relevantes son los Proyectos de Conocimiento para el Desarrollo (PCD) que combinan la gestión del conocimiento por resultados con la innovación dando lugar a un mecanismo efectivo para la resolución de problemas de ámbito regional.
- La Oficina de la Cooperación Española (OCE) en Costa Rica, que constituye una Unidad Técnica Especializada en Medio Ambiente y Cambio Climático que presta asesoramiento y apoyo a la gestión de iniciativas regionales como el Programa de Medio Ambiente y Cambio Climático de la Cooperación Española en América Latina y el Caribe, ARAUCLIMA.
- La dirección de la DCALC (Dirección de Cooperación con América Latina y el Caribe), en coordinación con la DCMHF (Dirección de Cooperación Multilateral, Horizontal y Financiera).

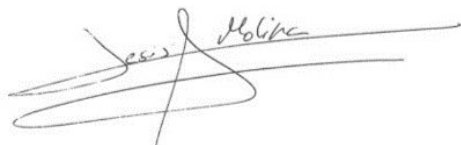
En conjunto ARAUCLIMA e INTERCOONECTA se unen para complementar y multiplicar el impacto de los esfuerzos que la Cooperación Española desarrolla junto con los países de la región, poniendo en valor la experiencia acumulada durante más de 30 años.

Una de las experiencias que ha resultado interesante en la aplicación de estos nuevos enfoques de trabajo ha sido el PCD **“Gestión de riesgos vinculados al cambio climático en zonas costeras de América Latina y el Caribe”** que ha buscado fortalecer las capacidades y desarrollar instrumentos

para afrontar la gestión de riesgos costeros ante el cambio climático, la variabilidad climática y eventos extremos en los países América Latina y el Caribe. Este proyecto se desarrolló en estrecha colaboración entre: la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC), el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, la Oficina Técnica de Cooperación Española en Costa Rica a través del Programa Regional de Medio Ambiente y Cambio Climático en América Latina y el Caribe (ARAUCLIMA) y el Centro de Formación de La Antigua como coordinador el Proyecto.

Uno de los productos más destacados de este PCD es esta guía que estamos presentando: **“Guía para el análisis de riesgos y la adaptación al cambio climático en la costa”** que se espera facilite el acceso al conocimiento, metodologías y herramientas necesarias para abordar un análisis de los riesgos del cambio climático en la costa, así como para evaluar estrategias de adaptación flexibles que permitan la planificación ante los efectos adversos del cambio climático en la región latinoamericana. Además, aporta indicadores intercomparables que servirán para informar, en cada país, el estado y la evolución de variables relacionadas con los riesgos en la costa de América Latina y El Caribe frente al cambio climático. Esta experiencia innovadora brindó apoyo a 17 países fortaleciendo las capacidades de las instituciones de los Gobiernos y del resto de los actores involucrados en la definición de estrategias y acciones para hacer frente a estos impactos.

INTERCOONECTA



Jesús Molina Vázquez
 Director
 Centro de Formación de la Cooperación Española
 en La Antigua Guatemala

ARAUCLIMA



Rafael H. García Fernández
 Coordinador General
 Oficina de la Cooperación Española en Costa Rica

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos para la elaboración de esta Guía han sido financiados íntegramente por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en el marco del Proyecto de Conocimiento para el Desarrollo (PCD) “Gestión de riesgos vinculados al cambio climático en las costas de América Latina y el Caribe”.

Los contribuyentes a esta Guía desean expresar también su agradecimiento al personal del Centro de Formación en La Antigua (Guatemala) y de la Oficina Técnica de Costa Rica de la Cooperación Española por sus esfuerzos de coordinación y gestión para la elaboración de todos los productos generados en el marco del PCD.

ANTECEDENTES. EL PROYECTO DE CONOCIMIENTO

El presente documento incluye dos de los principales resultados del Proyecto de Conocimiento para el Desarrollo (PCD) titulado “Gestión de riesgos vinculados al cambio climático en las costas de América Latina y el Caribe”.

- Guía metodológica de análisis de los riesgos en la costa de ALC frente al cambio climático, la variabilidad climática y los eventos extremos
- Lista de indicadores inter-comparables de estado y evolución de variables relacionadas con los riesgos en la costa de ALC frente al cambio climático.

La Cooperación Española entiende el conocimiento como un recurso eficaz para abordar las necesidades institucionales y su valor estratégico reside en su capacidad para propiciar la transformación social. Para que el conocimiento incida en el desarrollo son necesarios tres logros concatenados: la apropiación por parte de las personas e instituciones, su aplicación en la puesta en marcha y mejora de medidas y políticas de las instituciones y, finalmente, el impacto positivo de dichas medidas en la sociedad.

Los Proyectos de Conocimiento para el Desarrollo (PCD) son instrumentos desarrollados dentro del Plan Interconecta y formulados como proyectos que siguen la lógica de la gestión por resultados y el ciclo de la gestión del conocimiento. De este modo se persigue la articulación en la capitalización de aprendizajes y experiencias, uno referido a la toma de decisiones, y otro a la implementación para profesionales de alto nivel de las instituciones públicas y equipos técnicos de dichas instituciones. Se conforman así auténticas Comunidades Temáticas de Conocimiento que asocian a diferentes instituciones clave que desarrollan programas de actividades de intercambio de conocimiento y desde donde se fortalecen redes orientadas al fortalecimiento de las capacidades para el desarrollo.

Más concretamente, el objetivo general de este PCD es contribuir al cumplimiento de las metas establecidas por los países con costa de la región latinoamericana en la Agenda 2030, el Acuerdo de París de lucha contra el cambio climático, las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) al mismo, y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. El alcance geográfico y la participación en el desarrollo del PCD se extiende, por tanto, a 17 países de América Latina y el Caribe miembros de la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC).

DESARROLLO CONCEPTUAL DE LA GUÍA

El desarrollo conceptual de la Guía se sustenta sobre la metodología para el análisis de los riesgos físicos del cambio climático, establecida inicialmente en 2012 por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en el Informe Especial “Gestión de los Riesgos de Fenómenos Meteorológicos Extremos y Desastres para mejorar la Adaptación al Cambio Climático” y en sus diferentes modificaciones recogidas en los informes posteriores.

BLOQUE 1: CÓMO USAR ESTA GUÍA

SOBRE LA GUÍA



Objetivo

El objetivo de esta Guía es facilitar el acceso al conocimiento, metodologías y herramientas necesarias para abordar un análisis de los riesgos físicos del cambio climático en la costa, así como para evaluar diferentes estrategias de adaptación flexibles, que permitan una adecuada planificación e implementación en un marco de incertidumbre.

Por tanto, se pretende que sirva como una referencia en la integración de los potenciales efectos del clima en las políticas, estrategias y planes de gestión en la costa a corto, medio y largo plazo, incluidos los planes de adaptación y de gestión del riesgo.



A quién se dirige

La Guía se dirige a gestores, planificadores y técnicos que desarrollen su labor en las costas de América Latina y Caribe, así como en España y Portugal. Aunque la complejidad del problema del cambio climático en la costa requiere ser abordado con un alto grado de especialización en algunas de las disciplinas involucradas, la Guía favorece la visión integral de la aproximación frente a los aspectos específicos, permitiendo su utilización por un amplio abanico de especialistas y gestores en el marco de un grupo de trabajo multidisciplinar.



Ámbito de aplicación

La metodología aquí presentada es aplicable en cualquier tramo de costa o sector ubicado en la costa susceptible de verse afectado por los efectos del cambio climático de largo plazo, la variabilidad climática y los eventos extremos. Por su estructura puede aplicarse a cualquier escala geográfica y en cualquier tipología de costa, con las salvedades propias de la información y herramientas utilizadas a tal efecto. Por tanto, la Guía es aplicable para hacer evaluaciones a escala global, regional o local, así como para apoyar el desarrollo de planes nacionales o regionales de adaptación. También puede ser utilizada para la elaboración de proyectos para la implementación de medidas de adaptación específicas. En función de su aplicación, el documento guía al usuario por diferentes rutas y alternativas de análisis.

Aunque la Guía se centra principalmente en las amenazas de origen marino, para un ámbito geográfico cualquiera, la metodología admite la integración de diferentes amenazas de origen natural (cambios en la precipitación, temperatura, sequía, tsunamis, etc.) y de carácter antrópico, si se desea.



Criterios para su elaboración

A través de una serie de talleres participativos que contaron con la representación de especialistas de los países participantes en el PCD, se establecieron varias premisas para la elaboración de esta Guía:

- Debe ser aplicable a la diversidad de casuísticas naturales y socioeconómicas que pueden encontrarse a lo largo de los más de 90.000 km de costa de los 17 países de la RIOCC.
- Debe fundamentarse sobre la mejor base científica y los estándares internacionales más avanzados y disponibles.
- Debe construirse de manera participativa para garantizar el máximo beneficio del conocimiento y buenas prácticas residentes en los países participantes, favoreciendo así la apropiación y mejor aprovechamiento de la Guía por parte de los gestores y planificadores de cada país.
- Debe ser eminentemente práctica para facilitar su aplicación.

Partiendo de las premisas anteriores, la Guía se ha construido sobre un marco conceptual de análisis del riesgo que es el establecido por el IPCC (2012, 2014, 2019, 2022) y se ha desarrollado considerando diferentes recomendaciones y normas en vigor, favoreciendo así que su aplicación específica en la costa quede avalada por los estándares internacionales. Además, se han integrado en la misma aquellos aspectos que se han desarrollado en otras guías internacionales con objetivos semejantes, independientemente de que fueran o no de aplicación en la costa.

Asimismo, los criterios de aplicabilidad se han garantizado, considerando en su elaboración, la experiencia adquirida por IHCantabria en los análisis de riesgo y planes de adaptación desarrollados en diferentes ámbitos geográficos y sectores en todo el mundo y muy especialmente en América Latina y el Caribe. Esta aportación se ha visto enriquecida notablemente por el conocimiento y las experiencias de buenas prácticas que se han incorporado a la Guía a través de las contribuciones de los países RIOCC que se han involucrado en el proceso de redacción.

Finalmente, se ha partido de la base de que cualquier análisis de riesgos y la planificación de la adaptación asociada deben ser conmensurables con los objetivos, alcance y medios disponibles. Por ello, se ha dotado a la metodología de una organización multinivel que permite elegir el nivel de complejidad, recursos necesarios o nivel de incertidumbre aceptable en función del problema que se desea considerar.



Organización y estructura

La Guía se encuentra estructurada en 3 grandes Bloques. El Bloque 0 incluye todos los aspectos relativos al contexto en el que se ha desarrollado la Guía. El Bloque 1 recoge los aspectos más introductorios de la Guía. En el Bloque 2 se encuentra el núcleo central de la Guía, pues en él se describe la metodología general y todos aquellos aspectos necesarios para su aplicación. Dicha metodología está estructurada en 3 Fases diferentes. La Fase 1 recoge todos los aspectos preparatorios antes de emprender un análisis de riesgos y es la base sobre la que se sustentan las Fases posteriores. La Fase 2 se dedica íntegramente al análisis de riesgos. Considerando que las aproximaciones al análisis de riesgos pueden ser diversas, la Fase 2 se estructura en 3 niveles (a, b y c).

La Fase 2a se destina a un análisis de riesgos cualitativo, denominado Nivel 1, que está basado, fundamentalmente, en criterio experto. En esta Fase 2a también se recoge la metodología para realizar los análisis de riesgo percibido que tienen como misión caracterizar la percepción y niveles de tolerancia de las comunidades y agentes interesados.

Las Fases 2b y 2c se dedican a los Niveles 2 y 3, respectivamente, recogiendo aproximaciones cuantitativas del análisis de los riesgos en la costa con diferentes niveles de complejidad. Esta Fase 2 se cierra con la Fase 2d que tiene elementos comunes a las tres anteriores, 2a, b y c.

Finalmente, la Fase 3 se destina íntegramente a la planificación, implementación y seguimiento de la adaptación.

Es necesario destacar que cada una de las fases descritas se encuentra, a su vez, subdividida en lo que se han llamado Pasos. Esto permite conducir a usuarias y usuarios, a lo largo de la Guía, para ir completando todos los aspectos que es necesario cubrir para alcanzar los objetivos planteados. Para ello, además, el documento incluye gráficos, tablas y cuadros explicativos que apuntalan conceptos importantes e ilustran algunos pasos con ejemplos y buenas prácticas, facilitando así la aplicación.

Con el fin de facilitar la lectura de la Guía se ha optado por recoger una parte importante de la información más detallada para la ejecución de las diferentes Fases en un conjunto de Anexos que se han integrado en el Bloque 3.

¿CÓMO SE APLICA?

Tal y como se muestra en la Figura 1, la Guía se aplica en 3 Fases diferenciadas que, a su vez, están estructuradas en pasos secuenciales. El resultado final de cada Fase es necesario para poder avanzar hacia la siguiente. Sin embargo, esto no implica que haya aspectos específicos de cada paso o fase que no puedan abordarse de forma simultánea durante el proceso.

En la Fase 1 se parte del análisis del contexto del problema que se desea abordar: la formulación de objetivos y resultados esperados; la formación de un equipo ad hoc y el análisis de los recursos, capacidades y datos disponibles; la determinación del alcance del trabajo y la metodología, aspectos relativos a los procesos de identificación de agentes interesados y procesos participativos y, finalmente, la elaboración de un plan de trabajo específico. La Fase 1, con diferentes niveles de intensidad, es de obligado cumplimiento para garantizar un resultado final de calidad.

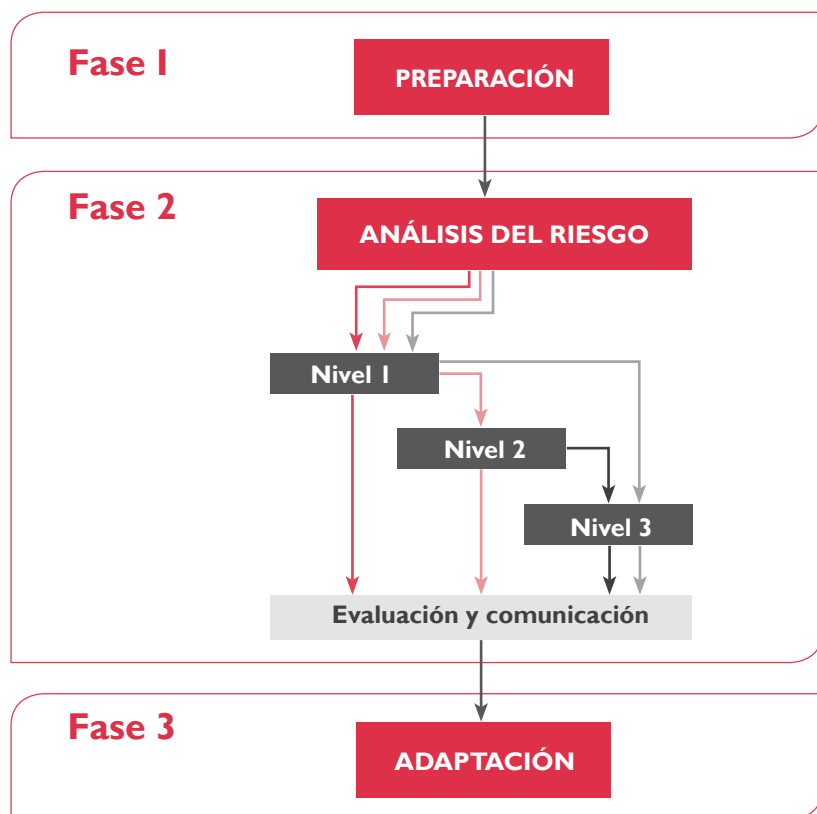
La Fase 2 está destinada al análisis de riesgos y debe ser alimentada directamente con los resultados obtenidos de la Fase 1. Para cumplir con los requerimientos conceptuales establecidos para la elaboración de esta Guía, la Fase 2 es multinivel y se estructura en 3 niveles de análisis de riesgo diferenciados, Figura 1.

- Nivel 1: se basa fundamentalmente, en un análisis cualitativo basado en criterio experto.
- Nivel 2: se basa fundamentalmente en una evaluación cuantitativa del riesgo con un análisis basado en indicadores.
- Nivel 3: es el nivel más complejo, requiriendo la combinación de información con alta resolución espacial para las diferentes componentes del riesgo, un modelado avanzado de impactos y una caracterización geoespacial de los riesgos y consecuencias.

Cabe decir que los diferentes niveles no son completamente estancos y que, por tanto, se puede optar por aproximaciones híbridas en función de las capacidades e información disponible.

La elección del Nivel más está condicionado el nivel de decisión u objetivos que pretende informar el análisis (política, estrategia, plan, proyecto, concienciación...); escala geográfica; tipo de información climática, de exposición y vulnerabilidad disponible; metodología para la evaluación de impactos disponible; tipo de resultados esperados; tipo de representación de riesgos y consecuencias requerido; disponibilidad y accesibilidad a datos de base; grado de incertidumbre aceptable; recursos técnicos, económicos y tiempo de ejecución disponibles.

Figura 1.
Trayectorias de trabajo para la aplicación de la Guía



De acuerdo con la Figura 1, la Guía puede aplicarse siguiendo diferentes trayectorias de análisis que quedarán determinadas por los aspectos recogidos en el párrafo anterior.

En cualquier circunstancia la aplicación de la Guía comenzará mediante el abordaje de la Fase I. Entre otras cuestiones dicha Fase servirá para determinar cuál de las trayectorias de análisis de riesgo es la recomendada para el problema en cuestión.

- La trayectoria roja implica la realización de un análisis de riesgo de Nivel I que concluye con una evaluación y un proceso de comunicación a los agentes interesados y sociedad general. Sus resultados pueden alimentar una evaluación preliminar de la identificación de prioridades de adaptación, generar concienciación o servir para hacer un análisis inicial de estrategias y planes de adaptación.

- La trayectoria rosa utiliza los resultados del Nivel I para alimentar un Nivel 2. Esta trayectoria es necesaria cuando los objetivos del análisis requieren una información cuantitativa y homogénea que garantice una información más granular y completa, y un nivel de incertidumbre inferior al que resulta del Nivel I. Si con base en los objetivos planteados, se considera que los resultados del Nivel 2 cumplen con los mismos, la trayectoria rosa conduce a la evaluación y comunicación de los riesgos obtenidos y, posteriormente, a la

formulación de procesos de adaptación. Con el Nivel 2 se puede obtener una valoración del riesgo de la inacción a escala regional, nacional o subnacional; se pueden alimentar planes nacionales y subnacionales de adaptación; realizar una selección inicial de estrategias y tipologías de medidas de adaptación, así como una evaluación preliminar de las necesidades de financiación y de cambios en la gobernanza o en las políticas que se deberían realizar para poder proceder a la implementación de la adaptación. Asimismo, permite un primer análisis de posibles trayectorias adaptativas, es decir, del marco temporal de implementación de las medidas y de la subsecuente reducción de riesgo conseguido o del riesgo residual para un horizonte y escenario temporal dados. En función del grado de desarrollo del Nivel 2, incluso se puede llegar a plantear la definición de anteproyectos de implementación de medidas recogidos en planes de adaptación.

- Las trayectorias gris y negra conducen a un análisis de riesgos de Nivel 3. En el caso de la trayectoria gris, directamente desde un Nivel 1; en el caso de la negra, partiendo de los resultados de un análisis de riesgos preliminar de Nivel 2. Un análisis de riesgos Nivel 3 es necesario para plantear la implementación de medidas de adaptación que requieran la elaboración de proyectos específicos. Para ello, debe desarrollarse un análisis de riesgos que tenga la mayor resolución espacial posible y en el que se utilicen técnicas que permitan un diseño y proyecto óptimo de las medidas que se desea implementar, con el menor nivel de incertidumbre que sea posible. El Nivel 3 es también adecuado para formular planes de adaptación cuando el dominio geográfico de estudio no sea excesivamente grande, generalmente por debajo de la escala municipal y, excepcionalmente, para dominios mayores si se cuenta con altas capacidades de cálculo y con información y bases de datos con la calidad suficiente para que todos los factores del análisis de riesgos sean consistentes en su nivel de definición. La existencia de las dos trayectorias pretende poner de manifiesto que es posible abordar un análisis de Nivel 3, sin pasar previamente por un Nivel 2. Sin embargo, el Nivel 3 es necesario si se desea pasar de un Nivel 2 a la implementación de medidas de adaptación.

BLOQUE 2: FASES DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

Este Bloque constituye el núcleo principal de este documento y recoge la descripción de las diferentes fases en las que se estructura la aplicación de la metodología que se propone en la Guía.

En la Fase I se describe la Preparación como elemento necesario antes de proceder a aplicar las diferentes aproximaciones propuestas para realizar el análisis de riesgos y descritas en las Fases posteriores. La Fase 4 se destina íntegramente a la adaptación.

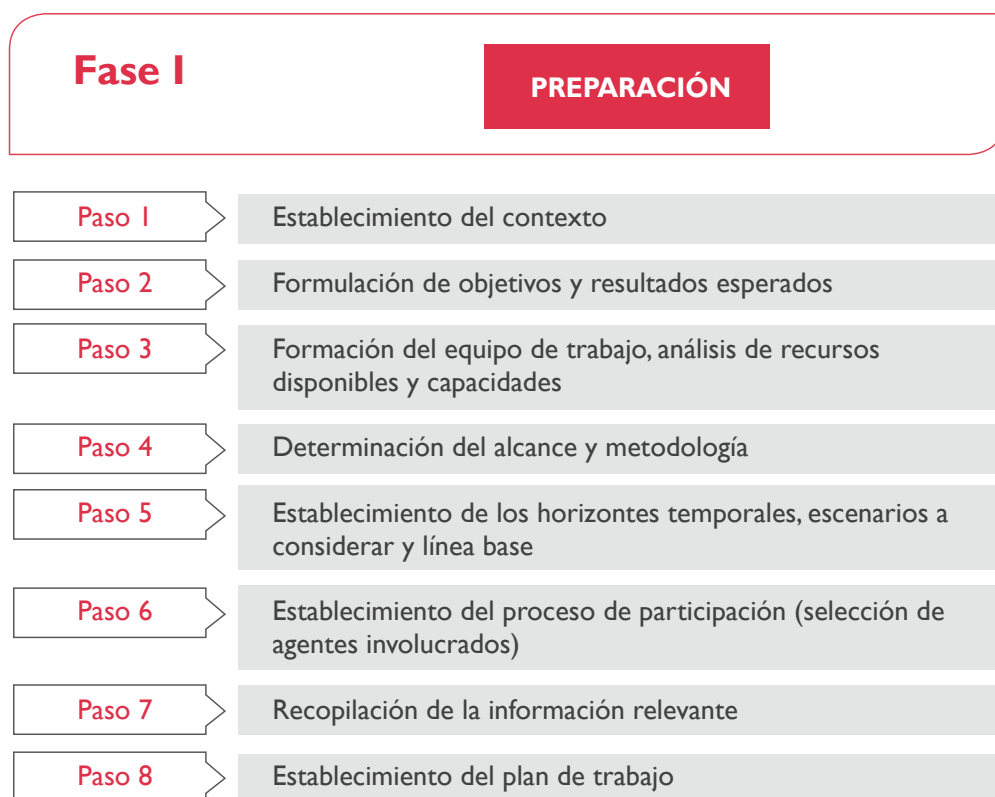
Con el fin de facilitar la aplicación en Fases, cada una de las mismas cuenta con una estructura en Pasos cuya aplicación y resultados esperables se ilustra con ejemplos, casos de buenas prácticas y tablas de información adicional que se recogen en el Bloque 3 y los Anexos.

FASE 1. PREPARACIÓN

La Fase I recoge los pasos que la entidad responsable⁵ del análisis de riesgos o de la planificación de la adaptación debe emprender al iniciar el proceso de implementación del trabajo, Tabla I. Estos pasos son los siguientes:

Tabla I.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase I: Preparación



5. En general, la entidad responsable del análisis suele ser el organismo público que ostenta las competencias en la gestión de la costa. En algunos países, estas competencias están fragmentadas por lo que, aunque la entidad responsable esté definida, sería altamente recomendable constituir mecanismos de coordinación que integren los diferentes niveles competenciales, facilitando así las tareas del equipo de trabajo.

El sector privado también puede ser responsable de este tipo de análisis. Por ejemplo, una autoridad portuaria o una corporación del sector turístico.

Paso 1

Establecimiento del contexto

Cada análisis de riesgos tiene un contexto único que determina su alcance, sus objetivos y sus productos finales. Por ello, las entidades encargadas de dichos análisis deben definir su marco de trabajo, considerando, entre otros, los siguientes aspectos:

- **Sistema en riesgo:** Para ello es necesario definir la estructura general del sistema considerado incluyendo su extensión geográfica (p.ej., playa, tramo costero de diferente longitud o demarcación administrativa); identificación de los sectores y agentes principales del sistema; procesos físicos, sociales, ambientales y económicos fundamentales; interconexiones, dependencias e interdependencias entre procesos, agentes y sectores y factores externos (p.ej. cambios demográficos, cambios en la planificación territorial, desarrollos tecnológicos, o en general aquellos que puedan introducir modificaciones en cualquiera de las componentes del riesgo en el sistema, i.e. amenaza, exposición y vulnerabilidad).
- **Amenazas/peligrosidad:** Es necesario identificar las amenazas de origen climático que puedan afectar potencialmente al sistema en riesgo, haciendo una selección adecuada de aquellas que se van a incluir en el análisis de riesgos y considerando la información requerida y disponible para su análisis. Asimismo, es necesario considerar aquellas de origen no climático que puedan exacerbar o reducir el efecto de los cambios en el clima. (p.ej., la erosión por aumento del nivel medio del mar (ANMM) se verá exacerbada por la existencia de barreras artificiales al transporte longitudinal a lo largo de la costa).
- **Procesos:** Identificar y analizar los procesos y actividades existentes o planificadas relacionadas con la evaluación del riesgo que puedan condicionar la caracterización de las amenazas, exposición o vulnerabilidad del sistema considerado.
- **Conocimiento:** Identificar los agentes y fuentes de conocimiento disponibles sobre los aspectos relevantes para el análisis del riesgo, así como todos los estudios e informes anteriores con relación directa en el análisis de riesgos.

- **Partes interesadas:** Identificar e involucrar, en la medida de lo posible, en la elaboración del análisis de riesgos a las partes interesadas en el proceso, contando con administraciones relevantes y con competencias, ONGs, sector privado y población en general y articular los vehículos necesarios para que puedan hacer contribuciones relevantes.
- **Recursos:** Establecer la disponibilidad de recursos financieros, humanos, técnicos y disponibilidad y accesibilidad a la información/datos relevantes.
- **Aspectos regulatorios y legales** que puedan tener incidencia sobre los objetivos, el proceso o el resultado de la evaluación de riesgos.

Paso 2

Formulación de objetivos y resultados esperados

La decisión de una entidad de llevar a cabo un análisis de riesgos responde siempre a una necesidad concreta. Un planteamiento claro de los objetivos y resultados esperables desde el comienzo de la formulación del proceso es esencial para garantizar la eficiencia, eficacia, calidad y transparencia del mismo. Por tanto, sería deseable que se consideraran los siguientes aspectos, desde su inicio.

- Determinar el objetivo y los resultados esperados del análisis de riesgos y los procesos posteriores que dicho análisis apoyará o alimentará (p.ej., elaborar un plan de adaptación o de reducción de riesgos frente a eventos meteorológicos extremos; identificar comunidades en riesgo; acceder a fondos internacionales para adaptación, etc.).
- Identificar quiénes son los receptores principales y potenciales secundarios de los resultados esperables, así como sus necesidades de información.
- Identificar, con claridad, las lagunas de información que el análisis de riesgos debe abordar.

- Definir cómo se utilizarán los resultados que se generen, con especial consideración a sus requerimientos técnicos, legales o financieros (p.ej., requerimientos de representación geoespacial; indicadores de riesgo necesarios (sociales, ambientales, económicos), análisis narrativo del riesgo y sus factores relevantes, etc.).
- Identificar y facilitar la involucración de aquellos expertos, instituciones y partes interesadas necesarias para realizar el análisis de riesgos y la posterior aplicación de sus resultados.
- Identificar al público destinatario e informar sobre el proceso y, especialmente de los objetivos y resultados esperables del análisis del riesgo, desde las fases iniciales.

Paso 3

Formación del equipo de trabajo, análisis de recursos disponibles y capacidades

La entidad que tenga asignada la responsabilidad de realizar el análisis de riesgos deberá designar un equipo de trabajo que puede estar formado por expertos externos e internos.

- El equipo de trabajo debe tener conocimiento sobre aspectos enumerados en el Paso 1: Establecimiento de contexto. Es decir: del sistema en riesgo, las amenazas, los procesos presentes y planificados, los agentes y fuentes de conocimiento disponibles, de las partes interesadas y su posible involucración en el proceso y, finalmente, sobre los recursos disponibles y el ámbito regulatorio en el que se enmarca el análisis de riesgo.
- Es altamente recomendable que el equipo de trabajo incluya, desde las primeras etapas del proceso, al menos, un representante de los tomadores de decisiones interesados o receptores de los resultados finales. Esto facilita notablemente que el análisis se articule de acuerdo con las necesidades últimas. Más aún, el análisis requiere, a lo largo de su desarrollo, la toma de un conjunto de decisiones (p.ej.,

delimitación del ámbito geográfico, escenarios, horizontes temporales, selección de indicadores, umbrales) y otros aspectos que, en algunas circunstancias precisan de una más clara definición o del uso de juicios de valor o criterio experto que debe ser aportado por los tomadores de decisiones. Asimismo, su participación desde el comienzo del proceso favorece la apropiación e interiorización de los resultados en el proceso de toma de decisiones.

- En función de las necesidades, recursos y medios disponibles el equipo de trabajo puede contar con expertos externos que deberán ser seleccionados de acuerdo con las lagunas de conocimiento, técnicas u otras, detectadas en los Pasos 1 y 2.
- Es esencial que las funciones y responsabilidades de los componentes del grupo de trabajo, a lo largo de todo el proceso de elaboración del análisis de riesgos, queden perfectamente definidas.
- Otras partes interesadas e identificadas en los Pasos 1 y 2 pueden intervenir mediante la implementación de un proceso participativo sin formar parte del grupo de trabajo. Su participación puede ser esencial en el comienzo del análisis, para comprender el contexto o aportar información y experiencia (p.ej. evaluación de riesgo percibido o aportación de información sobre eventos históricos de daños o medidas de adaptación autónomas), así como durante y después del análisis, para evaluar, validar los resultados o contribuir a la difusión de los mismos.
- El equipo de trabajo debe establecer mecanismos de comunicación periódicos para coordinar, con la entidad responsable última del proceso, las acciones y la validación de los resultados provisionales, así como para garantizar que se va a contar con la información y los recursos necesarios con suficiente antelación.

Tabla 2.

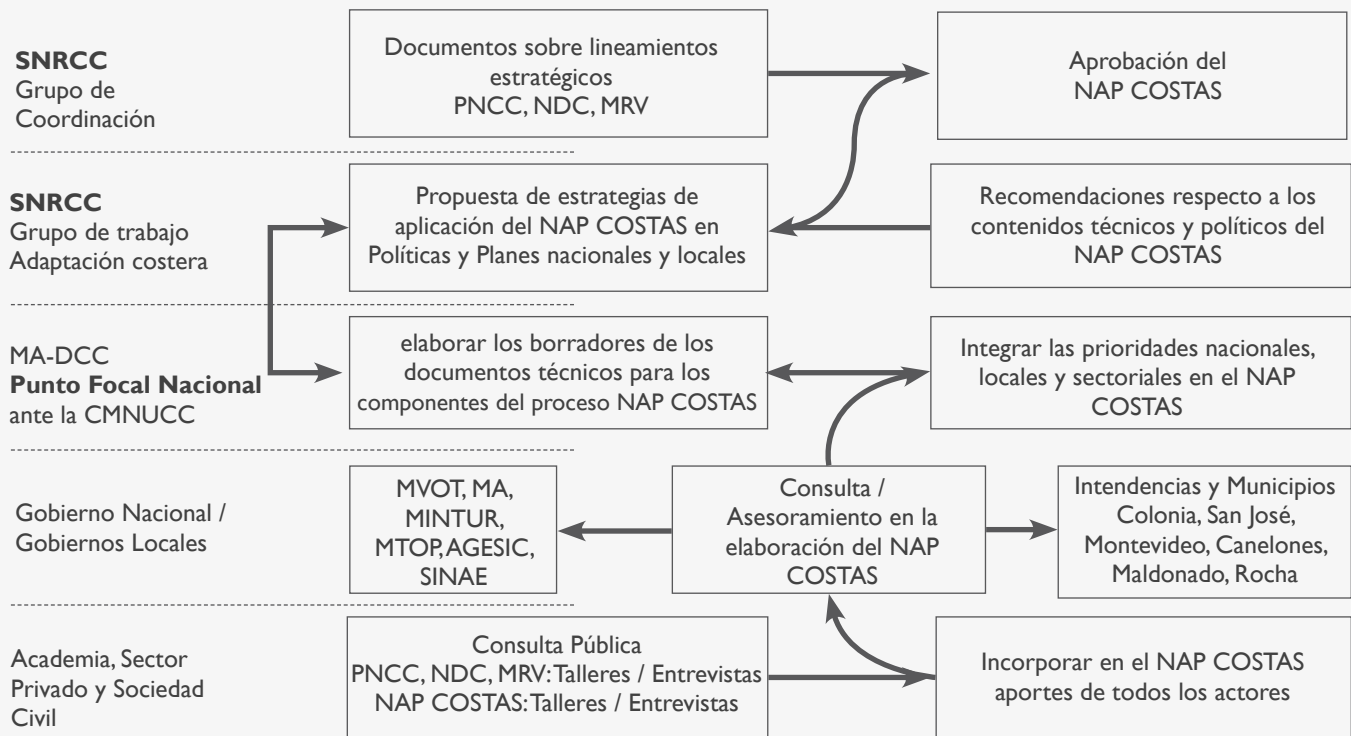
Disciplinas/capacidades mínimas recomendadas para el equipo de trabajo

ESPECIALISTA	PERFIL-DISCIPLINA-CAPACIDADES	FUNCIÓN EN EL ANÁLISIS (ejemplos)
Especialista en clima atmosférico	Ciencias físicas, ciencias de la atmósfera	Facilita e interpreta la información climática. Contribuye a la regionalización de la información y a la evaluación de indicadores.
Especialista en clima marino	Ciencias físicas, oceanografía, ciencias marinas	Facilita e interpreta la información de las dinámicas marinas. Contribuye a la regionalización de la información y a la evaluación de indicadores.
Especialista en análisis de riesgos asociados al cambio climático	Cualquiera con la que se acredite la especialización y experiencia	Contribuye a estructurar el análisis de riesgos; determinación de sus componentes e integración; ayuda a generar escenarios, interpretar y comunicar resultados.
Especialista en procesos y en modelado/caracterización de impactos	Ingeniería de costas, ecología costera; otros en función de los sectores involucrados (turismo, pesca, infraestructuras, zonas protegidas, etc.)	Contribuye a identificar impactos y cadenas de impacto. Incorpora a la evaluación de impactos para el sector correspondiente, la información de las proyecciones climáticas en la evaluación de impactos a través de indicadores o modelos de procesos.
Especialista en sistemas de información geográfica	Sistemas de información geográfica	Representación espacial y gestión de datos de los diferentes componentes del riesgo y sus resultados. Visualización de resultados y evaluación de algunos impactos como inundación mediante la técnica de la bañera u otros.
Especialista en economía ambiental	Economía ambiental	Evaluación de consecuencias económicas y costes de la inacción; análisis económicos para la selección de medidas de adaptación. Cálculo de co-beneficios. Análisis de proyecciones económicas para caracterizar la exposición y vulnerabilidad futuras.
Planificación y gestión de la costa, urbanismo y ordenación del territorio y el paisaje	Arquitecto/ingeniero urbanista	Conocimiento de la problemática y el marco de planificación y gestión en una región determinada. Determinación de los agentes y sectores. Establecimiento de cadenas de impactos. Análisis de vulnerabilidades del sistema. Identificación de barreras para la implementación de la adaptación.
Especialista en procesos sociológicos	Sociólogos o especialistas en ciencias sociales con experiencia acreditada	Contribuye a integrar los procesos sociales, la vulnerabilidad social, aspectos de género, igualdad, etc., en el proceso de análisis de riesgo y en el planteamiento de las medidas de adaptación.
Especialista en procesos de participación y comunicación	Ciencias sociales o comunicación con experiencia específica	Selección de agentes involucrados; gestión de talleres participativos para el análisis de riesgos y para los planes de adaptación. Iniciativas de comunicación e interpretación de resultados.

Cuadro I:

En este Cuadro se muestra como ejemplo de buenas prácticas la experiencia del desarrollo del Plan Nacional de Costas de la República Oriental del Uruguay, su contexto, objetivos, entidades involucradas, estructura organizativa y aspectos específicos

Caso de Buenas Prácticas: Plan Nacional de Costas de Uruguay. Organización.



Flujo de incorporación de conocimiento y definiciones en la elaboración del NAP COSTAS

En el marco de la elaboración del Plan Nacional de Adaptación Costera de Uruguay (NAP COSTAS), el Sistema Nacional de Respuesta a Cambio Climático (SNRCC) se ha comprometido a reforzar las capacidades técnicas e institucionales para la planificación e implementación, a medio y largo plazo, de medidas de adaptación en la zona costera de los departamentos de Colonia, San José, Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha. El proceso de generación del NAP COSTAS se concibe como una forma de trabajo que considera todas las preocupaciones relativas a la variabilidad y el cambio climático en los procesos de toma de decisiones. Tanto las definiciones sobre los componentes y contenidos del NAP COSTAS, así como la generación de conocimiento, se han desarrollado a través de una coordinación interinstitucional.



Los lineamientos generales para el proceso de flujo de incorporación de conocimiento y toma de decisiones (ver Figura) se centraron en un mecanismo iterativo de consulta y ajuste para la definición de líneas estratégicas y de acciones del NAP COSTAS. Se incorporaron cuatro niveles de participación institucional, el nacional, el sub-nacional, el académico y la sociedad civil. El SNRCC como rector del proceso, creó un Grupo de Trabajo denominado “Adaptación en la Zona Costera” el cual estuvo integrado por instituciones nacionales (DCC, DINAMA, DINOT, DINAGUA, MINTUR, UDELAR, IDEuy) y cuyo objetivo es el de integrar las prioridades nacionales, locales y sectoriales emergentes, así como elaborar y/o validar los borradores de los documentos técnicos para los diferentes componentes durante la construcción del NAP COSTAS. A su vez, los Gobiernos Sub-nacionales fueron consultados a través de diferentes instancias de participación y talleres de capacitación tendientes a mejorar la comprensión sobre la vulnerabilidad de la zona costera uruguaya.

Los Gobiernos Sub-nacionales juegan un rol preponderante a la hora de implementar medidas de adaptación, así como en la evaluación y monitoreo de las mismas. Por estos motivos, la participación de técnicos y gestores en el proceso de consulta, elaboración e implementación de acciones, es una constante para garantizar localmente la adaptación. Durante la implementación de las medidas de adaptación a nivel local, al momento de elaborar los proyectos ejecutivos, se incorpora a la sociedad civil. La misma está representada tanto por el sector privado como por las organizaciones de la sociedad civil con perfil ambiental y social. Su participación está relacionada con la implementación de acciones tendientes a la reducción del riesgo y la misma se efectiviza a través de talleres de carácter formativo y consultivo en simultáneo.



El conocimiento local favorece la construcción de resiliencia y también facilita el monitoreo de las medidas de adaptación para valorar su efectividad. Cabe destacar especialmente, que este proceso se sustentó en la incorporación de conocimiento y la transferencia tecnológica originados con base académica. Todo el conocimiento que el país había generado de forma sectorial fue compilado y puesto a disposición de centros de investigación tanto nacionales como internacionales para la elaboración de productos cuyo objetivo fueran la valoración de los riesgos costeros asociados a la variabilidad y el cambio climático. Es así que la Universidad de la República de Uruguay, representada por la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias, utilizó toda la información disponible en los diferentes estamentos del Gobierno Nacional para generar nuevo conocimiento referido a los escenarios climáticos ajustados a nivel de país y a la modelación hidrodinámica del Río de la Plata.



A la fecha, Uruguay cuenta con proyecciones del clima para el siglo XXI basadas en los modelos que el IPCC del informe AR6. Con toda la información generada en Uruguay, tanto a nivel académico como la disponible en los Ministerios y Agencias Nacionales se conformó una matriz a partir de la cual la Universidad de Cantabria, representada por el Instituto de Hidráulica, elaboró el diagnóstico final sobre los impactos y riesgos presentes en la zona costera uruguaya asociados al incremento del nivel del mar y a eventos extremos.

A la fecha, Uruguay cuenta con un exhaustivo análisis sobre la peligrosidad ante la inundación por incremento de nivel del mar, y sus consecuentes riesgos observados en la población, los activos construidos y los ecosistemas costeros. La combinación de información de alta resolución con modelos de impactos de procesos y con una aproximación probabilística contribuyó a reducir significativamente las incertidumbres en comparación con estudios anteriores efectuados a escala nacional.



Es así, que la metodología aplicada permitió identificar las zonas con mayor riesgo potencial de inundación y erosión costera, los subsistemas naturales y socioeconómicos más vulnerables y las zonas con mayor necesidad de adaptación. La decisión de haber invertido un alto porcentaje del tiempo del proceso de elaboración del NAP COSTERO en la generación de información y capacitación a nivel nacional y sub-nacional, ha fortalecido la toma de decisiones ya que actualmente tanto el Gobierno Nacional, los Gobiernos Sub-nacionales como los privados se encuentran en pleno proceso de elaboración de proyectos ejecutivos para la implementación de medidas de adaptación con fondos nacionales y fondos de donación internacional. Los estudios previos, no sólo mejoraron el conocimiento a nivel país referido a la valoración de la vulnerabilidad de nuestra zona costera, sino que también aceleraron los procesos de búsqueda de soluciones al corto y largo plazo y facilitaron las inversiones para la restauración del hábitat costero en sus componentes más vulnerables.

Durante todo el proceso la DCC se ha abocado a promover la disminución de las brechas existentes en el conocimiento y al diagnóstico de la vulnerabilidad costera a través de la consulta pública referida a las necesidades de adaptación. Desde 2017 se ha estado trabajando en la elaboración del NAP COSTAS el cual fue presentado para su aprobación al SNRCC en el 2021.

Acrónimos

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
 MA: Ministerio de Ambiente, DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente; DINAGUA: Dirección Nacional de Agua, DCC: Dirección Nacional de Cambio Climático; MINTUR: Ministerio de Turismo; MRV: Monitoreo, Reporte y Verificación de Compromisos; MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas; DNH: Dirección Nacional de Hidrología; MVOT: Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial, DINOT: Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial; NAP COSTAS: Plan Nacional de Adaptación Costera; NDC: Contribuciones Determinada a nivel Nacional; PNCC: Política Nacional de Cambio Climático; SNRCC: Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático

Paso 4

Determinación del alcance y metodología

Sobre la base de lo establecido en los Pasos 1-3, el equipo de trabajo, en coordinación con los encargados de adoptar las decisiones pertinentes, deberá definir el alcance del análisis de riesgos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- El sistema en riesgo y sus subsistemas (sectores, agentes y procesos internos y externos).
- El dominio geográfico y su marco administrativo.
- El conjunto de impactos de origen climático que pueden producirse sobre los componentes del sistema y subsistemas (p.ej. inundación, erosión, salinización, daños sobre obras de protección, blanqueamiento de coral, incremento de la vulnerabilidad social, etc.).
- Los agentes climáticos o su combinación (p.ej. temperatura, nivel medio del mar, oleaje, o nivel del mar total)⁶, inductores de dichos impactos y sus cambios futuros, tanto para sus extremos (p.ej. olas de calor), como valores medios (p.ej. temperatura

6. Resultado de sumar todas las componentes que contribuyen al nivel del mar

media anual) o variabilidad de medio (p.ej. frecuencia en intensidad de El Niño) y largo plazo (aumento del nivel medio del mar).

- El nivel de detalle necesario e incertidumbre aceptable para que el análisis de riesgos sea adecuado para sus fines. En este contexto es importante destacar que este criterio puede basarse en aspectos tales como el uso de indicadores de relevancia económica, social o ambiental⁷ o en criterio experto fijado por el equipo de trabajo conjuntamente con los receptores finales de los resultados.
- La resolución espacial de la evaluación y la selección de la metodología de análisis más apropiadas estarán condicionadas, entre otros, por:
 - El ámbito espacial del análisis (p.ej. país, provincia, ciudad, tramo de costa, bahía o playa). En general, a mayor superficie menor resolución espacial y mayor simplificación metodológica.
 - El nivel de detalle necesario e incertidumbre aceptable. Por ejemplo, no es lo mismo un análisis para introducir el efecto del cambio climático en un plan de gestión del litoral que para implementar un proyecto de adaptación concreto. El segundo caso demanda una mayor resolución espacial, mejores datos y una metodología más avanzada.
 - La información disponible para la caracterización de las amenazas/peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. En general, la información con menor resolución espacial o de menor calidad conduce a mayor incertidumbre y resultados menos fiables.
 - Los recursos humanos, técnicos y financieros disponibles para el análisis del riesgo. Con menores recursos y capacidades técnicas disponibles, lo habitual es aplicar metodologías más simples conducentes a resultados menos fiables y mayor nivel de incertidumbre.
 - Los plazos disponibles para la ejecución del análisis. En general, los análisis de alta resolución espacial y con modelos de impactos basados en procesos requieren plazos de ejecución más largos que aquellos que utilizan indicadores o los que están basados en criterio experto.
- En función de los aspectos anteriores, los niveles de análisis de riesgo a aplicar pueden ser variados, pasando de enfoques cualitativos asociados a procesos participativos o que utilizan técnicas de criterio experto (Nivel I), a enfoques cuantitativos centrados

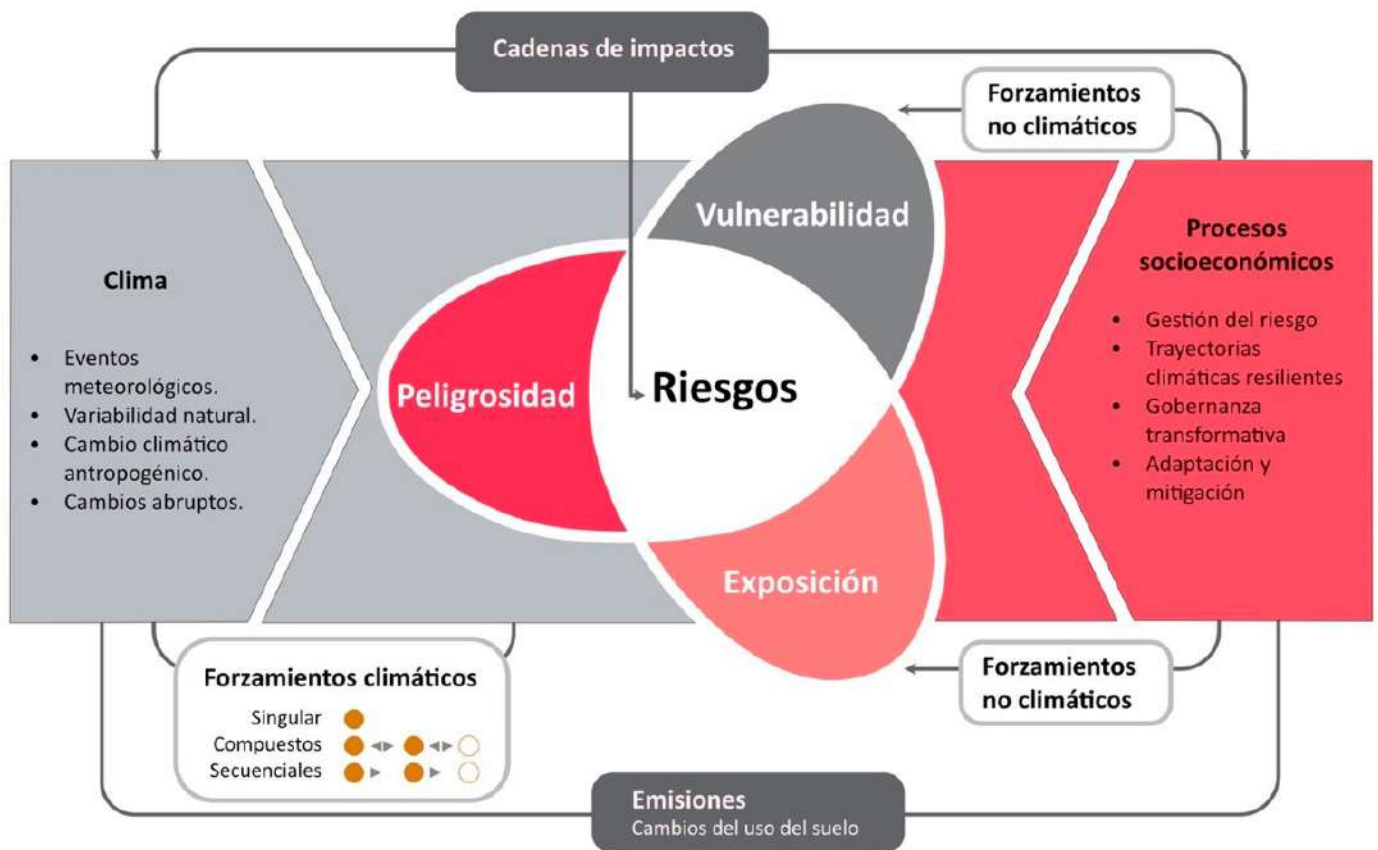
7. Ejemplo: Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM) españolas (Índices de Repercusión Social, Ambiental y Económica)

en el uso de indicadores (Nivel 2) o finalmente, metodologías de carácter probabilista que hacen uso de modelos de procesos para la evaluación de impactos y analizan las incertidumbres a lo largo del proceso (Nivel 3). Como ya se ha puesto de manifiesto en el Bloque I, también existen aproximaciones híbridas en las que se combinan algunas de las anteriores cuando existen deficiencias en la información o no es posible abordar todo el análisis de manera consistente con un solo nivel de aproximación.

- En esta Guía el análisis de riesgos se realiza utilizando como marco conceptual el desarrollado por el IPCC en el AR5 (2014), expuesto por primera vez en el Informe SREX (2012) y que se ha venido modificando ligeramente en informes posteriores. Este marco es aplicable cualquiera que sea el nivel de análisis de riesgos utilizado en esta Guía, de acuerdo con los criterios anteriores. En este contexto, el riesgo ante un impacto o conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Figura 2.

Marco conceptual de análisis de riesgos utilizado en esta Guía



Cuadro 2.

Glosario de términos más relevantes utilizados en el marco de análisis de riesgos según el IPCC

(Fuente: Glosario de Términos. IPCC (2014))

Amenaza

Factor externo de riesgo, de un sujeto o un sistema expuesto, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o provocado por la actividad humana, que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinada.

Exposición

Hace referencia a la presencia de personas, medios de vida, servicios ambientales, recursos, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en zonas que pudieran verse afectados por una amenaza y, por tanto, sujetos a impactos, pérdidas o daños.

Impacto

Se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos.

Peligro

Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. El término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de éste.

Vulnerabilidad

Se define genéricamente como la propensión o predisposición interna o inherente de un elemento expuesto a una amenaza de verse afectado negativamente.

Riesgo

Se define el riesgo de desastre como la probabilidad, en un periodo de tiempo determinado, de alteraciones severas en el funcionamiento normal de una comunidad o sociedad debido a amenazas de origen natural o antrópico que interactúan con las condiciones de vulnerabilidad del sistema afectado, generando un conjunto de efectos/impactos humanos, materiales, económicos o ambientales que requieren una respuesta inmediata para satisfacer las necesidades humanas críticas y puede requerir ayuda externa para su recuperación.

De acuerdo con dicho marco, los riesgos frente a una amenaza o conjunto de amenazas se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo.

Una primera adecuación a la costa del marco general de análisis de riesgos del IPCC puede observarse en la Figura 3. En este caso, la variabilidad natural del clima y el efecto del cambio climático antropogénico generan cambios en la subida del nivel del mar, tormentas, etc. constituyendo una amenaza capaz de producir un impacto (inundación, erosión, estrés térmico, etc.) sobre los elementos expuestos en la costa, ya sean sistemas humanos o naturales. La consideración de la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos frente al tipo y la intensidad del impacto recibido, dan lugar al riesgo, que se suele expresar en términos de consecuencias. Por tanto, el aumento de CO₂ en la atmósfera favorece un incremento del nivel medio del mar, lo que incrementa la peligrosidad y, por tanto, el riesgo sobre los elementos expuestos. Aquellos activos que están situados a cotas sobre el nivel del mar superiores a las máximas proyectadas para el nivel del mar extremo no están en riesgo, aunque aumente la peligrosidad, pues no están expuestos. A igual peligrosidad y exposición, una vivienda de concreto con una cimentación profunda tiene menos riesgo que una casa de madera sin cimentación, puesto que la segunda es más vulnerable que la primera.

A la hora de incorporar en este marco de análisis la acción climática, tenemos que distinguir entre mitigación y adaptación. La mitigación, a través de la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) afecta al clima y, por tanto, contribuye, inicialmente, a reducir la peligrosidad y, por tanto, el riesgo. Sin embargo, la adaptación actúa fundamentalmente sobre la reducción de la exposición y/o la vulnerabilidad con la consiguiente reducción del riesgo. Obsérvese que algunas de estas consideraciones son matizables puesto que la interrelación entre componentes del riesgo es evidente. Los cambios en los usos del suelo, por efecto de diferentes medidas de adaptación, pueden a su vez reducir las emisiones o incrementar la captura de CO₂, contribuyendo así a reducir la peligrosidad de manera indirecta.

Es necesario destacar que este marco conceptual difiere ligeramente del anteriormente establecido por el IPCC para el 4º Informe (AR4, 2007). Las similitudes y diferencias entre ambas aproximaciones se resumen en la Tabla 3. Esta cuestión es relevante dado que en muchos países del espacio RIOCC, y en otras partes del mundo, todavía se utiliza el marco conceptual del AR4. Asimismo, es muy probable que algunos de los informes ya existentes que vayan a utilizarse como base para los nuevos análisis de riesgos que se elaboren con esta Guía, se hayan desarrollado de acuerdo con el marco del AR4. Por ello, es esencial tener claras las diferencias entre ambos, evitando así posibles errores de interpretación.

Una vez establecido el marco, en esta Guía, el análisis de riesgos se organiza con una estructura multinivel, dentro de cada una de las cuales se puede aplicar diferentes aproximaciones. Los criterios para la selección del nivel de análisis dependen de las cuestiones abordadas en este paso y los anteriores y responde a los siguientes factores, algunos de los cuales son limitantes y condicionan por completo la elección final:

- o Tipo de evaluación: cualitativa o cuantitativa
- o Información climática necesaria
- o Métodos y técnicas para evaluar: impactos, exposición, vulnerabilidad y riesgo
- o Escala geográfica del análisis
- o Nivel de gestión para el que se pretenden utilizar los resultados
- o Requerimiento de datos
- o Resolución espacial de los datos de partida
- o Tipo de resultados esperados
- o Calidad esperada de los resultados
- o Grado de incertidumbre asociada a los resultados
- o Recursos técnicos necesarios para la elaboración del análisis
- o Recursos económicos necesarios para la elaboración del análisis
- o Tiempo disponible para su ejecución

La Tabla 4 conjuntamente con la Figura 3 pretende ayudar a que el equipo de trabajo realice la elección de la trayectoria de análisis de riesgos que mejor se ajuste a sus necesidades, capacidades y recursos disponibles.

Tabla 3.

Diferencias fundamentales en el marco conceptual de análisis entre el AR4 y AR5

	AR4 (2007)	ESTA GUÍA -AR5 (2014)
Resultado principal del análisis	Vulnerabilidad	Riesgo
Componentes	Exposición (E), Sensibilidad (S), Capacidad de adaptación (CA)	Amenaza (A), Exposición (E), Vulnerabilidad (V)
Relaciones	$V=f(E, S, CA)$	$R=(A, E, V)$ $V=(S, CA)$
Diferencias principales	La vulnerabilidad al cambio climático se define como el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y los extremos del clima”. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y el ritmo del cambio y la variación del clima a los que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación	Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación. La vulnerabilidad es una propiedad propia del sistema e incluye la sensibilidad y capacidad de adaptación del sistema.
	El forzamiento climático que genera el impacto se identifica con la Exposición, E. Es decir, la Amenaza queda subsumida dentro de la Exposición	El forzamiento climático que genera un impacto conduce a la amenaza, que es un factor del riesgo.
	Exposición, se identifica con el forzamiento climático	La exposición representa la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructuras o bienes económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. La exposición es un atributo espacial del sistema
	La sensibilidad, S, es el grado de afectación, positivo o negativo, de un sistema ante un forzamiento climático	S, misma definición
	La capacidad de adaptación, (CA), es “la capacidad de los sistemas, instituciones, humanos y otros organismos para ajustarse a los posibles daños, aprovechar las oportunidades o responder a las consecuencias”.	CA, misma definición

Figura 3.

Transposición genérica del marco del riesgo para su aplicación en la costa (Adaptado de: IPCC, 2014)

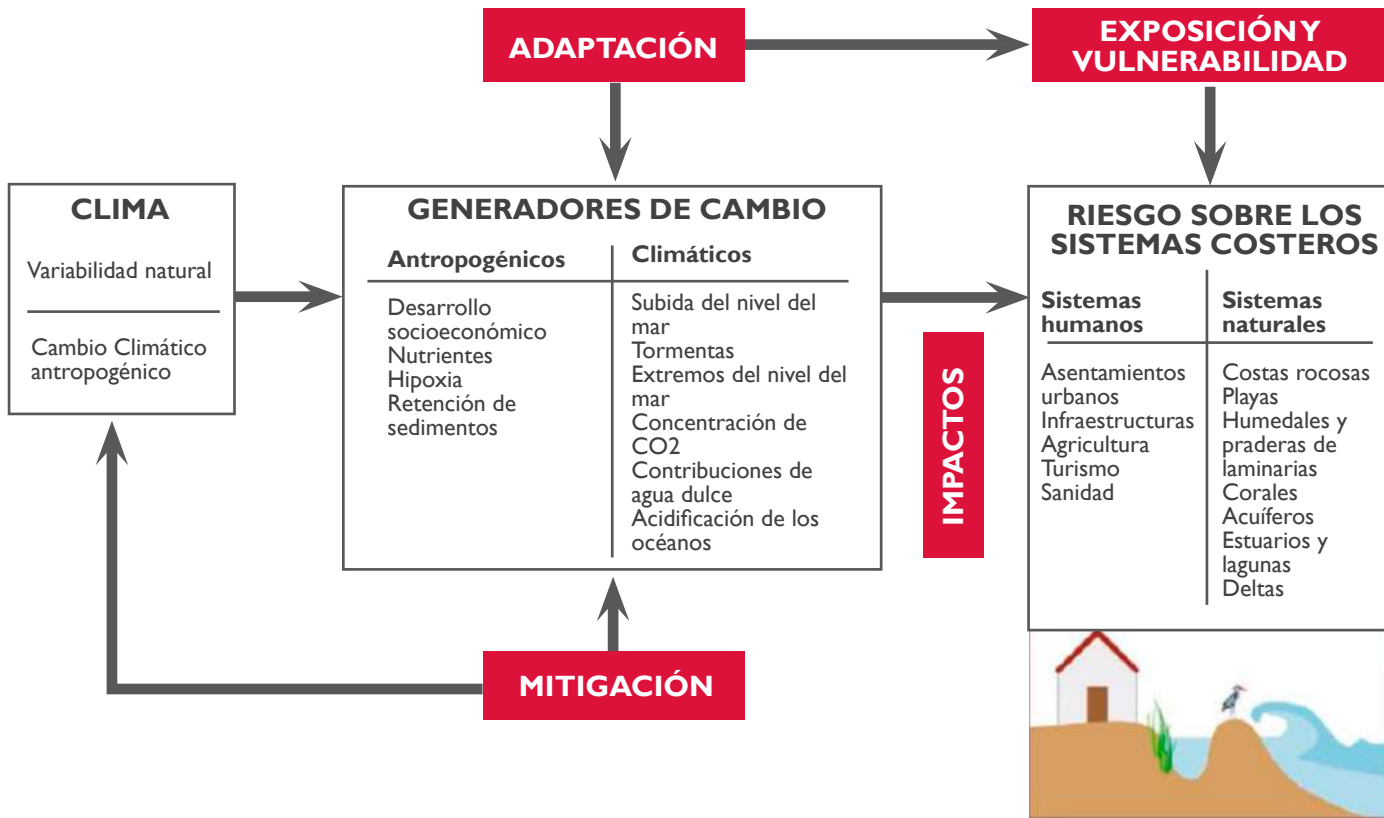


Tabla 4.
Determinación de la metodología para la aplicación del marco del riesgo

Nivel del análisis de riesgo	Tipo de evaluación	Información climática	Evaluación de impactos	Exposición	Vulnerabilidad	Riesgo	Escala geográfica	Nivel de gestión	Requerimiento de datos	Resolución de datos de partida	Resultados esperados	Calidad de los resultados	Grado de incertidumbre	Recursos técnicos	Recursos económicos	Tiempo de ejecución
Nivel I	Cualitativa	Proyecciones climáticas no estrictamente necesarias. Análisis de sensibilidad basado en cambios en el clima y experiencia basada en eventos históricos. Análisis basado en tendencias o proyecciones con baja resolución (GCMs o RCMs)	Basada en criterio experto y talleres participativos a partir de tablas de identificación de impactos de carácter sectorial y cadenas de impacto. Valoración cualitativa	Definida a través de la caracterización de los sistemas y subsistemas del ámbito considerado	A través de criterio experto o umbrales definidos a partir de eventos históricos o recomendaciones	Expresado en término de consecuencias sobre elementos expuestos mediante código cualitativo (p.ej., colores, ranking)	Cualquiera	Útil para informar políticas, para establecer una priorización de estudios posteriores o para generar conocimiento y concienciación sobre los riesgos del cambio climático en sistemas y sectores específicos. Recomendable siempre antes de un Nivel II o III	Bajo	Bajo	Análisis detallado de los subsistemas del ámbito de estudio y su posible sensibilidad al cambio climático a través de cadenas de impacto y matrices cualitativas de consecuencias	Baja a media en función de la complejidad del problema, el conocimiento de los expertos seleccionados y los datos utilizados	Alto. Mejora en dominios geográficos pequeños con pocos subsistemas y con la experiencia de los expertos seleccionados y horizontes de análisis cercanos	Bajos	Muy bajos. Los derivados de la fase de recopilación de información, disponibilidad de los expertos y proceso de participación	Semanas a mes según disponibilidad de información y técnicas de trabajo
Nivel 2	Cuantitativa	Proyecciones climáticas necesarias. Cálculo de indicadores climáticos o de impactos basado en proyecciones con baja resolución (GCMs o RCMs) en función de la resolución espacial o con datos de regionalizados, si estuvieran disponibles	Establecimiento de impactos a través de formulaciones semi-empíricas o excedencias sobre un umbral de funcionalidad o fiabilidad	Indicadores de exposición a partir de bases de datos internacionales o nacionales en función de la dimensión espacial del estudio	Uso de indicadores de vulnerabilidad social, económica y ambiental	Indicadores cuantitativos de riesgo evaluados como integración de los anteriores o indicadores cuantitativos de consecuencias	Preferentemente para ámbitos regionales o nacionales. Según la metodología y la información disponible entre cientos y miles de kms de costa	Puede obviarse si se requiere un Nivel III. Adecuado para análisis de riesgo de gran escala (> 100 km de costa); para identificar zonas de riesgos prioritarias o alimentar estrategias de adaptación	Medio	Depende de la extensión del dominio de análisis	Mapas con una distribución espacial discontinua de indicadores de riesgo o consecuencias. Indicadores agregados por sector o unidad de estudio	Media	Alto o medio	Medio, dependiendo de extensión e información disponible. Recomendable si no se dispone de los recursos técnicos necesarios para un Nivel III	Medio	Entre 3 y 9 meses en función de la longitud del tramo de costa o la complejidad de los sectores considerados, así como de la información disponible

Nivel del análisis de riesgo	Tipo de evaluación	Información climática	Evaluación de impactos	Exposición	Vulnerabilidad	Riesgo	Escala geográfica	Nivel de gestión	Requerimiento de datos	Resolución de datos de partida	Resultados esperados	Calidad de los resultados	Grado de incertidumbre	Recursos técnicos	Recursos económicos	Tiempo de ejecución
Nivel 3	Cuantitativa	Bases de datos históricas (hindcasts) de variables atmosféricas y marinas relevantes en alta resolución espacial O(<km). Proyecciones regionalizadas de alta resolución para variables atmosféricas y marinas. Preferentemente contando con proyecciones resultado de la regionalización de varios GCMs para diferentes escenarios (RCPs) y horizontes temporales y con corrección de sesgo	Caracterización climática específica en alta resolución para su implementación en modelos de procesos de impactos. Series temporales completas o caracterización estadística (funciones estadísticas de distribución)	Definición en alta resolución de la distribución espacial de los elementos expuestos y de su caracterización. Modelos digitales del terreno y batimetrías de alta calidad. Proyecciones de exposición y vulnerabilidad deseable.	Caracterización a través de funciones de daño o de fragilidad de cada uno de los elementos expuestos considerados	Expresado en términos de consecuencias económicas, sociales o ambientales. Generalmente a través de mapas espaciales o integrados en un dominio espacial determinado o por sectores.	Local o regional si se cuenta con grandes recursos técnicos y financieros	Necesario cuando la exposición y/o vulnerabilidad son extremadamente altas. Implementación de un proyecto o medidas específicas de adaptación	Alto. Factor altamente condicionante de la calidad de los resultados finales. En general, este tipo de análisis requiere levantamientos específicos de información	Alta resolución. exige consistencia entre los datos correspondientes a los diferentes componentes del riesgo	Mapas espaciales continuos de impactos o consecuencia sobre elementos expuestos. Daños anuales esperados. Daños para periodos de retorno específicos.	Alta. Gran dependencia de la calidad de los datos de partida	La menor incertidumbre de entre los Niveles de análisis considerado. Para este Nivel la incertidumbre se reduce si se priman aproximaciones probabilistas frente a deterministas, y si el horizonte de análisis es cercano	Muy altos. Solo para especialistas. Especialmente complejo si se opta por una aproximación probabilista	Alto o muy alto si se requiere el levantamiento de información específica para caracterizar la exposición y vulnerabilidad o si es necesario realizar la regionalización de la información climática	> 6 meses o incluso > 1 año si se requiere el levantamiento de información para la exposición/vulnerabilidad o la regionalización de la información climática

A continuación, se muestran tres ejemplos de análisis de riesgos de cambio climático en los que se ha aplicado la metodología del IPCC presentada en la Figura 2, pero con diferentes niveles de aproximación.

Figura 4.

Análisis Nivel I del riesgo presente y futuro (escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a mitad y finales de siglo) en los puertos del Principado de Asturias (España) basado en criterio experto.

PUERTO	INDICADORES DE RIESGO PRESENTE	INCREMENTO DEL RIESGO			
		2050 - RCP4.5	2050 - RCP8.5	2010 - RCP4.5	2010 - RCP8.5
VEGADEO	RIESGO BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO
CASTROPO	RIESGO BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO
FIGUERAS	RIESGO MEDIO	INCREM. BAJO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO
TAPIA DE CASARIEGO	RIESGO ALTO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO
VIA VÉLEZ	RIESGO MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO
ORTIGUERA	RIESGO BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO
NAVIA	RIESGO ALTO	INCREM. BAJO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO
PUERTO DEVEGA	RIESGO ALTO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO
LUARCA	RIESGO ALTO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO
OVIÑANA	RIESGO BAJO	INCREM. BAJO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO
CUDILLERO	RIESGO ALTO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO
SAN ESTEBAN DE PRAVIA	RIESGO MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO
SAN JUAN DE LA ARENA	RIESGO MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO

Figura 5.

Análisis Nivel 2 del riesgo futuro en la operatividad de los puertos del mundo para un escenario RCP8,5 a fin de siglo (Izaguirre et al., 2021).

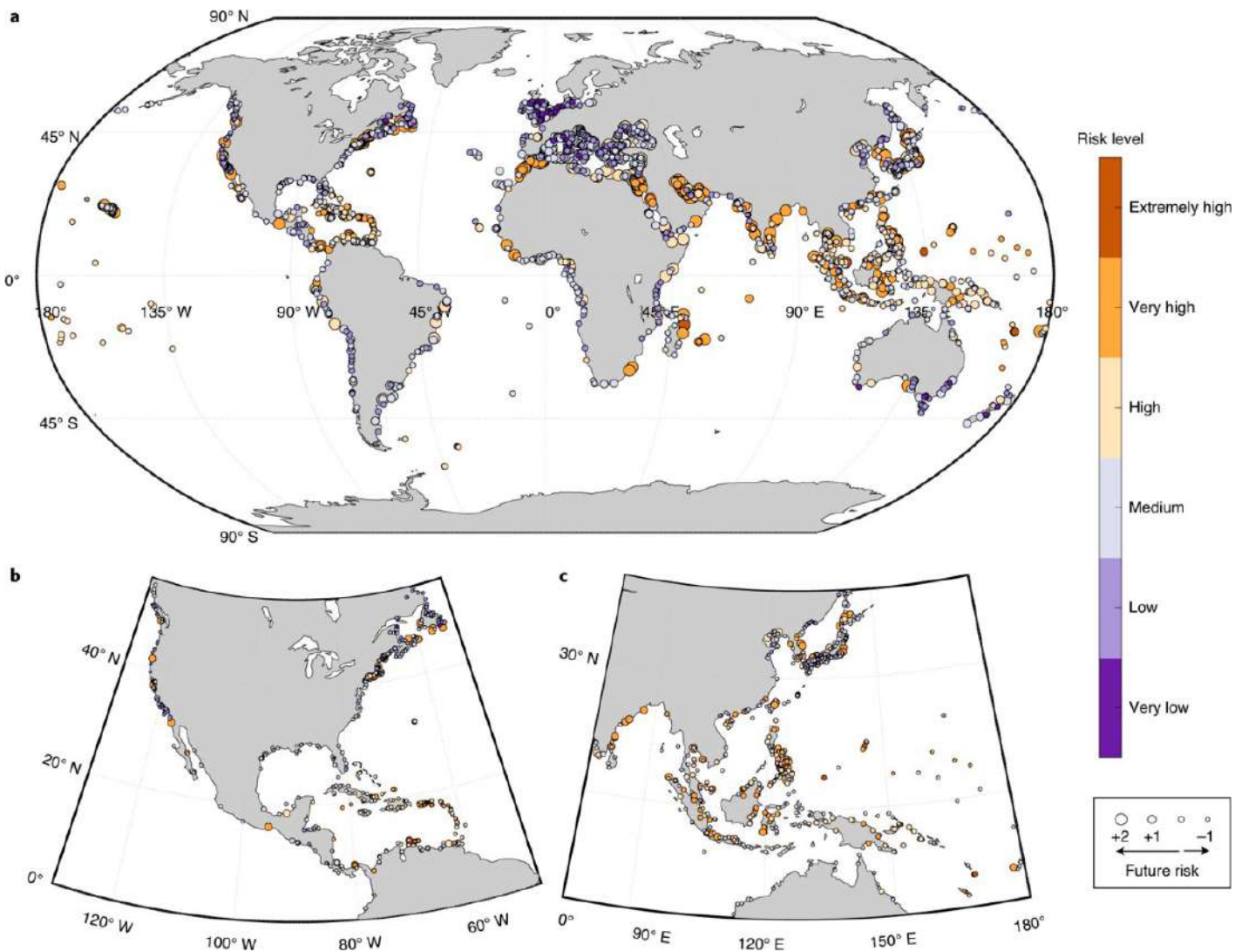
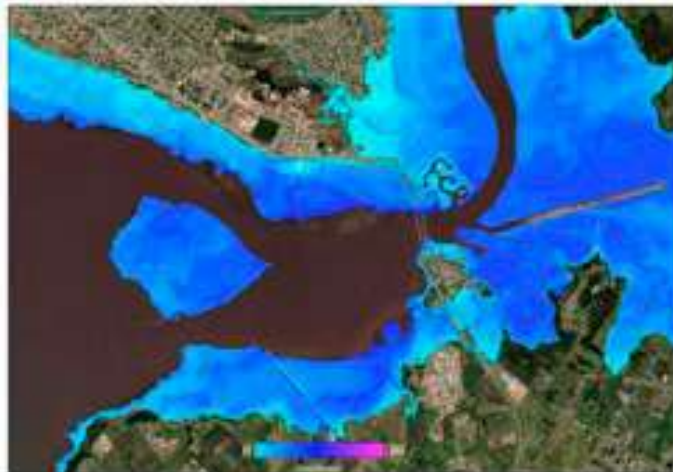
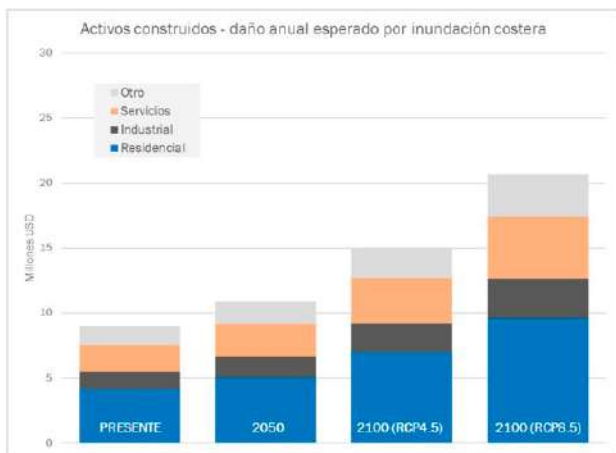


Figura 6.

Análisis Nivel 3 del riesgo de inundación sobre activos construidos en la costa de Uruguay para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en el presente, a mitad y fin de siglo.



Paso 5

Establecimiento de los horizontes temporales, escenarios a considerar y línea base

Para establecer los escenarios, periodos y horizontes temporales del análisis de riesgos frente al cambio climático, la entidad responsable deberá tener en cuenta algunas consideraciones iniciales importantes.

Horizonte temporal

En general, se comienza estableciendo cuál es el horizonte temporal que se quiere utilizar en el análisis. Esto depende fundamentalmente de:

- o El objetivo del análisis (p.ej., para incluir la adaptación en la planificación territorial pueden ser válidos periodos a medio plazo de 20-30 años o para analizar la adaptación de ecosistemas costeros entre 70 a 100 años, pero para el análisis del riesgo de una inversión en la costa pueden requerirse periodos inferiores a 15 años para garantizar su rentabilidad). No obstante, es recomendable definir un periodo temporal suficiente como para valorar los efectos a largo plazo del cambio climático, de tal modo que no se realicen actuaciones o inversiones que puedan resultar ineficaces o estar sujetas a riesgos a largo plazo.
- o Los plazos en los que los impactos del cambio climático pueden alcanzar umbrales críticos del sistema (p.ej., plazos por encima del tiempo estimado para la mortalidad de un arrecife de coral por episodios de blanqueo).
- o El horizonte temporal de actuaciones planificadas que puedan modificar sustancialmente la exposición o vulnerabilidad o introducir factores externos que incrementen o disminuyan notablemente el riesgo (p.ej., planes de desarrollo urbano de zonas costeras que incrementen la exposición y la vulnerabilidad del sistema o ampliaciones de largo plazo de grandes infraestructuras portuarias).
- o El tiempo requerido para que la implementación de las medidas de adaptación pueda ser eficaz.
- o El nivel de incertidumbre aceptable por los tomadores de decisiones o receptores del análisis (a horizonte temporal más alejado, mayores incertidumbres).

No obstante lo anterior, aunque los horizontes temporales de toma de decisiones inviten a no superar normalmente el año 2050, en muchas circunstancias se suele incluir en los análisis de riesgos en la costa el horizonte de 2100 o fin de siglo, fundamentalmente por como divergen las proyecciones del ANMM a medida que se avanza hacia finales de siglo y más allá.

Por todo ello, es una práctica bastante habitual considerar más de un horizonte temporal en los análisis de riesgo. Un futuro próximo (por ejemplo, las próximas tres décadas) y un futuro distante (por ejemplo, de 70 a 100 años).

Finalmente, será necesario considerar que los períodos climáticos se establecen en ciclos del orden de 30 años. Por tanto, en sentido estricto, y salvo algunas excepciones, como el nivel medio del mar, para el que existen proyecciones para 2100 y posteriores, los horizontes temporales de referencia y futuros y los escenarios de emisiones a considerar, estarán condicionados por las proyecciones de las variables climáticas y su disponibilidad y, por tanto, condicionarán el establecimiento de la peligrosidad, tal y como se explica más adelante.

Escenarios

A la hora de seleccionar los escenarios de trabajo, es necesario considerar su definición.

Escenario: Descripción plausible y a menudo simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas motrices (por ejemplo, el ritmo de la evolución tecnológica y los precios) y sobre las relaciones más importantes. Los escenarios no son ni predicciones ni pronósticos, pero son útiles ya que ofrecen un panorama de las consecuencias de la evolución de distintas situaciones y medidas. Esta definición general se puede particularizar en escenarios socioeconómicos, escenarios de emisiones y escenarios climáticos (Fuente: IPCC, 2021).

De esta definición se desprenden dos aspectos importantes. El primero es que los escenarios representan futuros verosímiles, pero, sin embargo, desconocemos cuál es su probabilidad de ocurrencia. El segundo se refiere al hecho de que en cambio climático trabajamos con diferentes tipos de escenarios que, de alguna manera, están interrelacionados entre sí.

Escenarios de base/de referencia o línea de base. Así como en mitigación se habla de escenarios de referencia como aquellos que se comparan con los escenarios de mitigación que se construyen para alcanzar diferentes objetivos de emisiones de GEI, concentraciones atmosféricas o cambios de temperatura. Para el análisis de riesgo y la adaptación, hablaremos de escenario de referencia como aquellos que se construyen para analizar los cambios en el riesgo futuro. Pueden considerarse también como aquellos en los que no hay más medidas de adaptación que las que ya están implementadas o se prevé su implementación en muy corto plazo. (Fuente: IPCC, 2021)

Trayectorias futuras

A finales de la década de 2000, investigadores de diferentes grupos de modelización de todo el mundo iniciaron el proceso de elaboración de nuevos escenarios para explorar cómo podría cambiar el mundo durante el resto del siglo XXI.

A finales de la década de 2000 se desarrollaron las "Trayectorias de Concentración Representativa" (RCP por sus siglas en inglés), que describen los distintos niveles de gases de efecto invernadero y otros forzamientos radiativos que podrían darse en el futuro. Desarrollaron cuatro vías, que abarcaban una amplia gama de forzamientos en 2100 (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 vatios por metro cuadrado), pero no incluyeron a propósito ninguna "narrativa" socioeconómica para acompañarlas.

Trayectorias de concentración representativas (RCPs).

Escenarios que incluyen series temporales de emisiones y de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso y la cobertura del suelo (Moss et al., 2010). La palabra "representativa" significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos escenarios posibles que conducirían a las características específicas del forzamiento radiativo. El término trayectoria pone de relieve que no sólo interesan los niveles de concentración a largo plazo, sino también la trayectoria seguida a lo largo del tiempo para llegar a ese resultado (Moss et al., 2010). Los RCP suelen referirse a la parte de la trayectoria de concentración que se extiende hasta el año 2100. En el AR5 se seleccionaron cuatro RCPs que abarcan desde un calentamiento aproximadamente inferior a 2 °C hasta las mejores estimaciones de calentamiento elevado (>4 °C) para el a finales del siglo XXI. RCP2.6, RCP4.5 y RCP6.0 y RCP8.5. (Fuente: IPCC, 2021)

Paralelamente se modelizó cómo podrían cambiar los factores socioeconómicos a lo largo del próximo siglo, incluyendo, entre otros, la población, el crecimiento económico, la educación, la urbanización y el ritmo de desarrollo tecnológico. Estas "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas" (SSP, por sus siglas en inglés) analizan cinco formas diferentes en las que el mundo podría evolucionar en ausencia de una política climática y cómo podrían alcanzarse diferentes niveles de mitigación del cambio climático cuando los objetivos de mitigación de los RCP se combinan con las SSP.

Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs).

Las trayectorias socioeconómicas compartidas se elaboraron para complementar las trayectorias de concentración representativas con distintos desafíos socioeconómicos de adaptación y mitigación. Las trayectorias socioeconómicas compartidas describen futuros socioeconómicos alternativos en ausencia de una intervención por medio de políticas climáticas sobre la base de cinco descripciones narrativas, a saber: desarrollo sostenible (trayectoria socioeconómica compartida 1), rivalidad regional (trayectoria socioeconómica compartida 3), desigualdad (trayectoria socioeconómica compartida 4), desarrollo con combustibles fósiles (trayectoria socioeconómica compartida 5) y desarrollo de término medio (trayectoria socioeconómica compartida 2). La combinación de escenarios socioeconómicos basados en las trayectorias socioeconómicas compartidas y proyecciones climáticas basadas en trayectorias de concentración representativas ofrece un marco integrador útil para el análisis de los impactos climáticos y de las políticas. (Fuente: IPCC, 2021)

Dos de los factores críticos en la elaboración de los SSPs han sido la evolución de la población y el crecimiento económico.

Los niveles de población más bajos se registran en los SSP1 y SSP5, alcanzando un máximo de 8.500 millones entre 2050 y 2060, y disminuyendo hasta el nivel actual de unos 7.000 millones en 2100. Esto coincide en gran medida con el escenario de baja fertilidad de las Naciones Unidas. Los SSP2 y SSP4 son más intermedios, con un pico de población entre 2070 y 2080 de unos 9.500 millones, aunque sigue siendo inferior al escenario de fecundidad media de Naciones Unidas de unos 11.500 millones. Por último, el SSP3 muestra un crecimiento continuado de la población mundial hasta finales de siglo, alcanzando los 12.600 millones en 2100. El SSP3 es superior al escenario medio de fecundidad de la ONU, pero sigue siendo inferior al escenario de alta fecundidad de la ONU.



En cuanto al desarrollo económico, todos los SSPs prevén un crecimiento espectacular de la economía mundial, con un PIB mundial en 2100 entre cuatro y diez veces mayor que en 2010. Esto se traduce en una tasa media de crecimiento anual del PIB mundial de entre el 1,8% en el extremo inferior y el 3,4% en el extremo superior, aunque en todos los modelos la tasa de crecimiento se ralentiza a lo largo del siglo. Este crecimiento es uno de los principales motores de las futuras emisiones de CO₂, aunque los distintos escenarios prevén diferentes niveles de "desacoplamiento" futuro del crecimiento y las emisiones asociados a una descarbonización de la economía.



Las cifras del PIB incorporan las proyecciones de población de cada SSP, así como supuestos de flujos comerciales internacionales, desarrollo tecnológico y otros factores coherentes con las narrativas de los SSP.

El mayor crecimiento del PIB se da en el SSP5, con un rápido desarrollo y convergencia entre países y un PIB per cápita medio mundial de unos 140.000 dólares anuales en 2100. El menor crecimiento del PIB se da en el SSP3, donde el desarrollo es lento y fragmentado. En el SSP3, la renta media mundial se sitúa en torno a los 20.000 dólares en 2100, sólo ligeramente por encima de los niveles actuales.

El desarrollo de los SSPs y RPCs se concibió para que fueran complementarios. Los RCPs fijan las trayectorias de las concentraciones de gases de efecto invernadero y, de hecho, el calentamiento que podría producirse a finales de siglo. Por su parte, los SSPs fijan el escenario en el que se lograrán -o no- las reducciones de emisiones.

De hecho, con el desarrollo de los SSP se han añadido los RCPI.9, RCP3.4 y RCP7.0.

La RCPI.9 es una nueva vía que se centra en limitar el calentamiento por debajo de 1.5°C, el objetivo al que aspira el Acuerdo de París. Antes de París, la comunidad científica se centraba en limitar el calentamiento a 2°C como el resultado climático más ambicioso. Sin embargo, tras la adopción del Acuerdo de París y la inclusión de 1.5°C en su objetivo de temperatura a largo plazo, surgió la necesidad de comprender claramente las implicaciones de este objetivo más ambicioso.

La RCP3.4, por su parte, representa una vía intermedia entre el "muy estricto" RCP2.6 y los esfuerzos de mitigación menos rigurosos asociados al RCP4.5. Se trata de una alternativa a explorar, dados los recientes debates sobre la posibilidad de alcanzar el objetivo de 2oC.

Por último, el RCP7.0 representa el extremo medio-alto del rango de emisiones y calentamiento futuros, y es un resultado de referencia más que un objetivo de mitigación. Llena un vacío importante al proporcionar una vía similar a la línea de base "intermedia" del SSP2, y puede proporcionar una alternativa convincente o un complemento al comúnmente utilizado RCP8.5 para los estudios que comparan la mitigación y los escenarios "sin cambios".



Proyecciones climáticas

El objetivo fundamental del diseño de las trayectorias anteriores era generar, de manera estructurada, los forzamientos que alimentan los modelos climáticos globales o modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés) que permiten obtener proyecciones climáticas. Esto se hace mediante la iniciativa Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, CMIP por su acrónimo en inglés.

Proyección climática

Respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse.

(Fuente: IPCC, 2021)

Sin embargo, mientras que los RCPs se terminaron a tiempo para ser utilizados en el quinto ciclo del proyecto anterior, CMIP5, y en el 5to. Informe de Evaluación del IPCC (AR5), el desarrollo de los SSP ha sido un proceso mucho más largo. Los SSPs finalizaron en 2016, pero no se empezaron a utilizar hasta el CMIP6 (sexto ciclo), que ha sido la base del 6° Informe de Evaluación del IPCC (AR6). Este desfase temporal ha dado lugar a que, en la mayor parte de los ámbitos y sectores, incluida la costa, los análisis de riesgo y la planificación de la adaptación que se han presentado a lo largo del AR6 estén basados únicamente en escenarios construidos con los RCPs, sin tener en cuenta los SSPs.

La combinación de ambas trayectorias ha dado lugar a los siguientes escenarios de trabajo que han sido los más utilizados durante el AR6. El acrónimo que

recoge la primera columna de la Tabla 5, hace referencia a la combinación de trayectorias socioeconómicas compartidas (1, 2, 3 y 5) y el RCP correspondiente (1.9; 2.6; 4.5; 7.0 y 8.5).

Finalmente, es necesario considerar que en el AR6 también se contempla que, en lugar de utilizar la combinación de un escenario y un horizonte temporal, las proyecciones climáticas y sus correspondientes impactos puedan formularse en términos de niveles de calentamiento global, es decir 1°C, 2°C, 3°C o más grados con respecto al periodo de referencia, en este caso 1850-1900. Esto permite una mayor concienciación a la hora de analizar las diferencias con respecto a los objetivos marcados en el Acuerdo de París.

Tabla 5.

Escenarios resultado de la combinación de Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y Trayectorias de concentración representativas (RCP) utilizadas en el AR6 (IPCC, 2021).

SSP-RCP	DESCRIPCIÓN BREVE	DESCRIPCIÓN GENERAL
SSP1-1.9	Más optimista: 1.5°C en 2050	Escenario más optimista del IPCC. Las emisiones globales de CO ₂ se reducen a cero en torno a 2050. Las sociedades cambian a prácticas más sostenibles, pasando del crecimiento económico al bienestar general. Los fenómenos meteorológicos extremos son más frecuentes, pero el mundo ha esquivado los peores impactos del cambio climático. Único que cumple con el objetivo del Acuerdo de París de mantener el calentamiento global en torno a 1.5°C por encima de las temperaturas preindustriales. Se alcanza los 1.5°C pero que luego desciende y se estabiliza en torno a los 1.4°C a finales de siglo
SSP1-2.6	Siguiente mejor: 1.8°C en 2100	En el siguiente mejor escenario, las emisiones globales de CO ₂ se reducen drásticamente, pero no tan rápidamente, alcanzando el cero emisiones después de 2050. Cambios socioeconómicos hacia la sostenibilidad equivalentes a SSP1-1.9. Las temperaturas se estabilizan en torno a 1.8°C por encima de las preindustriales a finales de siglo.
SSP2-4.5	Intermedio: 2.7°C en 2100	Escenario “intermedio”. Las emisiones de CO ₂ rondan los <u>niveles actuales</u> antes de empezar a descender a mediados de siglo, pero no llegan a cero en 2100. Los factores socioeconómicos siguen sus tendencias históricas, sin cambios notables. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, y el desarrollo y la renta crecen de forma desigual. En este escenario, las temperaturas aumentan 2.7°C a finales de siglo.
SSP3-7.0	Peligroso: 3.6°C en 2100	Las emisiones y las temperaturas aumentan constantemente y las emisiones de CO ₂ se duplican aproximadamente con respecto a los niveles actuales para el año 2100. Los países se vuelven más competitivos entre sí, orientándose hacia la seguridad nacional y asegurando su propio suministro de alimentos. A finales de siglo, la temperatura media habrá aumentado 3.6°C.
SSP5-8.5	A evitar a cualquier precio: 4.4°C en 2100	Es un futuro que hay que evitar a toda costa. Los niveles actuales de emisiones de CO ₂ se duplicarán aproximadamente en 2050. La economía mundial crece rápidamente, pero este crecimiento se alimenta de la explotación de los combustibles fósiles y de estilos de vida que consumen mucha energía. En 2100, la temperatura media del planeta es de 4.4°C más sobre los valores preindustriales

Por tanto, de lo anterior se puede concluir que la elección de los escenarios de emisiones o socioeconómicos y las proyecciones climáticas asociadas están condicionadas por su disponibilidad en el marco de los distintos ciclos del CMIP.

Cambios en la exposición y vulnerabilidad



La información sobre exposición y vulnerabilidad que pueda estar disponible suele tener fechas de levantamiento diversas y, en contadas excepciones, proyecciones futuras. Por ello, con criterio experto, se deberá establecer una línea de base o de referencia que integre el periodo climático de referencia de las bases climáticas (p.ej., 1986-2005) con las fechas de levantamiento de la información de exposición (p.ej. densidad de población, 2016) y vulnerabilidad (p.ej., indicadores de vulnerabilidad social, 2005) disponible. Téngase en cuenta que los resultados del análisis de riesgo se basarán en proyecciones climáticas (peligrosidad) establecidas como la diferencia entre el periodo de referencia (p.ej., 1986-2005) y periodos futuros, por ejemplo, a corto-medio plazo, (p.ej., 2026-2045) y largo plazo (p.ej., 2081-2100) lo que implicaría que, en este ejemplo, el levantamiento de población (2016) esté entre dos periodos climáticos.

Además de los escenarios socioeconómicos disponibles, conocidos con SSPs, anteriormente descritos, la entidad responsable del análisis del riesgo, con el fin de adecuar el mismo a los objetivos fijados, puede demandar el uso de escenarios socioeconómicos ad hoc en los que pueden considerarse, p.ej., modificaciones en la exposición y vulnerabilidad (p.ej., crecimiento tendencial de la población; cambios en la superficie y usos del suelo de ciudades costeras; ampliación de infraestructuras portuarias o cambios derivados de la propia implementación de medidas de adaptación).

Selección de escenarios de análisis de riesgos

La selección final de escenarios de análisis de riesgos resultará de la combinación de proyecciones climáticas para diferentes resultados de la combinación de Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y Trayectorias de concentración representativas (RCP); escenarios de cambios en la exposición y vulnerabilidad considerados y los horizontes temporales futuros y/o periodos de referencia seleccionados.

El número considerado de escenarios y sus combinaciones puede condicionar la capacidad de análisis. A mayor número de escenarios mayor complejidad y necesidad de recursos, pero también una visión más clara del amplio espectro de futuros posibles y sus incertidumbres asociadas. Por ello, suele ser bastante frecuente utilizar un único escenario climático cuando el horizonte objetivo es mitad de siglo o anterior, pues suele haber pequeñas diferencias entre los mismos.

Además de por la disponibilidad de las proyecciones climáticas, la selección de escenarios y su número viene en muchas ocasiones impuesta por aspectos legales o políticas nacionales o regionales y que están vinculadas a las recomendaciones del IPCC o a los objetivos de cumplimiento de compromisos en materia de mitigación (p.ej., cumplimiento del Acuerdo de París o compromisos nacionales de descarbonización en un horizonte dado).

En el caso de que el proceso de análisis de los riesgos de origen climático sea requerido con una cierta periodicidad temporal (p.ej. en España cada 5 años) se deberá tratar de homogeneizar los periodos de referencia, escenarios y horizontes temporales para facilitar que sean comparables.⁸

Las diferentes combinaciones de horizontes temporales y escenarios para la evaluación de riesgos se resumen en la tabla siguiente. El equipo de trabajo conjuntamente con los agentes principales involucrados deberá hacer la selección de escenarios y horizontes temporales en función de los objetivos del análisis.

8. El IPCC suele facilitar la información necesaria para permitir encontrar las relaciones, por ejemplo, entre los escenarios de emisiones y proyecciones de los diferentes AR.

Tabla 6.

Resumen de opciones de escenarios y horizontes temporales

ESCENARIOS	PRESENTE (BASE)	FUTURO
EMISIONES	Generalmente, viene impuesto por las proyecciones climáticas que se van a emplear. Se compara con los escenarios de mitigación que se construyen para alcanzar diferentes objetivos de emisiones de GEI.	RCPs, trayectorias que cubren hasta 2100 y en algunos casos hasta 2300 y que en el AR6 están asociadas a diferentes trayectorias socioeconómicas (SSP).
CLIMÁTICO	Puede utilizarse el periodo de referencia considerado en las proyecciones climáticas obtenidas de modelos o datos climáticos históricos (observados o numéricos) que cubran un periodo equivalente.	Proyecciones obtenidas de modelos climáticos (GCM o RCMs) para diferentes RCPs y periodos temporales a mitad y fin de siglo y 2100. Para el aumento del nivel medio del mar, al no proceder solamente de este tipo de modelos, pueden elaborarse escenarios específicos para el análisis de riesgos.
EXPOSICIÓN	La información obtenida dentro del periodo de referencia climático considerado o la que se levante específicamente para el análisis. En el caso de existir importantes diferencias temporales se debe tratar de homogeneizar la información con criterio experto o estudios disponibles.	<p>Opción 1: Mantener la exposición del periodo base.</p> <p>Opción 2: Mantener la exposición del periodo base modificada con las medidas de adaptación que se desea implementar.</p> <p>Opción 3: Proyectar la exposición (usos del suelo, edificación, población) mediante técnicas simplificadas, autómatas celulares u otras con o sin adaptación.</p>
VULNERABILIDAD	La información obtenida dentro del periodo de referencia climático considerado o la que se levante específicamente para el análisis. En el caso de existir importantes diferencias temporales se debe tratar de homogeneizar la información con criterio experto o estudios disponibles.	<p>Opción 1: Mantener la vulnerabilidad del periodo base.</p> <p>Opción 2: Vulnerabilidad del periodo base modificada con las medidas de adaptación que se desea implementar.</p> <p>Opción 3: Proyectar la vulnerabilidad del periodo base con o sin adaptación.</p>
RIESGO	Obtenido como la integración del clima, exposición y vulnerabilidad presentes a partir de información histórica o para el periodo de referencia de las proyecciones climáticas utilizadas.	Obtenida como integración de las proyecciones climáticas consideradas (SSP-RCP o RCP + horizonte temporal) y escenarios de ANMM con cualquiera de las opciones recogidas para la exposición y vulnerabilidad.

Paso 6**Establecimiento del proceso de participación (selección de agentes involucrados)**

El establecimiento del proceso de participación debe contemplarse ya en esta fase de preparación para:

- ✓ garantizar una evaluación continua del proceso
- ✓ facilitar una toma de decisiones de calidad y ajustada a las necesidades reales del trabajo
- ✓ contribuir a la concienciación y a la apropiación del trabajo por aquellas partes interesadas en sus resultados

En el caso de realizar un análisis de riesgo Nivel I, la selección de expertos debe ser especialmente cuidadosa para que el análisis basado en juicio experto sea robusto y representativo.

Asimismo, es necesario considerar que, en muchos países, los procesos de participación están regulados o son de obligado cumplimiento, por lo que será imprescindible analizar el procedimiento administrativo al que será sometido el análisis de riesgos para incorporar a su planificación los procesos de participación oportunos.

Paso 7**Recopilación de la información relevante**

Independientemente de la metodología seleccionada en el Paso 4, la recopilación, al menos, de los metadatos relativos a la información disponible, puede facilitar enormemente la selección definitiva de metodología, así como el establecimiento del plan de trabajo. En términos generales, la información que será necesario recopilar se puede dividir en los tres siguientes grandes epígrafes:

- **Estudios análogos.**
Será necesario identificar todos los estudios previos relevantes para informar los Pasos anteriores y las fases posteriores de este análisis de riesgo. Para ello, se puede hacer uso de la Ficha 1 recogida en el Anexo 3.
- **Información disponible para el análisis de riesgo.**
Es altamente recomendable identificar y caracterizar mediante metadatos toda la información disponible relativa a:
 - o Datos históricos y proyecciones climáticas.
 - o Datos para la caracterización presente y futura de la exposición.
 - o Información relativa a la vulnerabilidad presente y futura de los elementos expuestos.

Para ello se puede hacer uso de la Ficha 2 recogida en el Anexo 3.

- **Información histórica de impactos sobre el sistema o subsistemas considerados.**

Identificar y caracterizar cuantitativa o cualitativamente los impactos y las consecuencias que diferentes eventos climáticos han tenido sobre los sistemas y subsistemas considerados es esencial para facilitar el análisis de riesgo Nivel 1, así como para calibrar y validar los análisis correspondientes a los Niveles 2 y 3. Para recoger esta información, se puede hacer uso de las fichas recogidas en el Anexo 3 y de las recomendaciones expuestas en la Fase 2.

Paso 8

Establecimiento del plan de trabajo

Una vez completados los pasos anteriores y definida la metodología seleccionada es necesario proceder al establecimiento de un plan de trabajo de acuerdo con las necesidades identificadas. La entidad responsable del análisis deberá garantizar que el plan de trabajo contenga, al menos:

- ✓ La definición de tareas y subtareas.
- ✓ La definición de las responsabilidades de los equipos de trabajo interno y externo.
- ✓ El cronograma de trabajo, hitos, resultados y productos.

Tabla 7.
Resumen de la Fase I

PASO	RESULTADOS	FICHAS DE APOYO
1.Establecimiento del contexto	Identificación y caracterización del sistema en riesgo objeto del análisis y sus características principales. Identificación de las amenazas de origen climático y no climático. Determinación de los procesos relevantes para la evaluación del riesgo. Identificación de los agentes y actores principales en términos de conocimiento y las fuentes de conocimiento disponibles. Identificación de las partes interesadas y articulación de los vehículos para su involucración en el análisis.	Ficha 1
2.Formulación de objetivos y resultados esperados	Análisis de los recursos disponibles y del marco regulatorio y legal del trabajo. Formulación del objetivo y resultados esperado. Identificación de los receptores principales y secundarios. Estrategia de utilización de los resultados. Selección de expertos y partes interesadas así como, público destinatario.	
3.Formación del equipo de trabajo, análisis de recursos disponibles y capacidades	Composición y estructura del equipo de trabajo e identificación de recursos disponibles.	ver Tabla 2

PASO	RESULTADOS	FICHAS DE APOYO
4. Determinación del alcance y metodología	Determinación del alcance y nivel del análisis de riesgo seleccionado incluida la resolución espacial del trabajo.	
5. Establecimiento de los marcos temporales, escenarios a considerar y línea base	Establecimiento del periodo de referencia y horizontes de evaluación del riesgo. Escenarios climáticos y socioeconómicos considerados.	
6. Establecimiento del proceso de participación	Planificación del proceso de participación a lo largo del estudio.	
7. Recopilación de la información relevante	Relación de estudios similares anteriores. Información relativa a la clima, exposición y vulnerabilidad. Información de impactos históricos de origen climático.	Fichas 2,3 y 4 Anexo 3
8. Establecimiento del plan de trabajo	Definición de tareas y subtareas. Definición de las responsabilidades del equipo de trabajo interno y externo. Definición de la responsabilidad de cada una de las tareas. Cronograma de trabajo, hitos, resultados y productos.	



FASE 2. ANÁLISIS DE RIESGOS

INTRODUCCIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, la Fase 2 de la Guía es un elemento central de la metodología propuesta pues incluye todas las cuestiones relativas al desarrollo de un análisis de riesgos en la costa. Por tanto, se dedica a abordar cómo tratar las diferentes componentes que abordan el riesgo. Sin embargo, el marco robusto que facilita el IPCC mostrado en las Figuras 2 y 3, puede aplicarse con diferentes objetivos y niveles de dificultad, tal y como se describe en la Tabla 4. Por ello, esta Fase se subdivide en 3 partes, Fases 2a, 2b y 2c, que se corresponden con los 3 niveles de aproximación que propone la Guía para abordar los análisis de riesgos en la costa. Finalmente, se incluye una Fase 2d, que incluye un conjunto de pasos adicionales, comunes a los 3 niveles y que son necesarios para completar, debidamente, el análisis de riesgos.

FASE 2A. ANÁLISIS DE RIESGOS- NIVEL 1

La Fase 2 cumple dos funciones independientes. Por un lado, facilita una evaluación cualitativa del riesgo a través de la determinación del riesgo percibido por los agentes involucrados y receptores últimos del análisis y, por el otro, sienta las bases para los análisis de riesgo de Niveles 2 y 3 gracias al trabajo de expertos cualificados, ver Figura 1.

Esta Fase se estructura en los siguientes Pasos:

Tabla 8.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2a: Análisis de Riesgos-Nivel 1

Fase 2a		ANÁLISIS DEL RIESGO	Nivel I
Paso 1	Identificación del sistema, subsistemas e interrelaciones externas (exógenas).		
Paso 2	Identificación de impactos y cadenas de impacto.		
Paso 3	Recopilación de información histórica de impactos.		
Paso 4	Análisis de sensibilidad a agentes climáticos. Umbrales.		
Paso 5	Análisis del riesgo percibido.		
Paso 6	Evaluación cualitativa del riesgo basada en criterio experto.		
Paso 7	Análisis de la capacidad adaptativa.		
Paso 8	Análisis y comunicación del riesgo.		

A la secuencia anterior, pudiera añadirse un Paso 0 de revisión y adecuación de la Fase I, si se considerase necesario o si el equipo de trabajo que va a elaborar el Nivel I no hubiera participado en la fase de preparación.

Paso 1

Identificación del sistema, subsistemas e interrelaciones externas (exógenas)

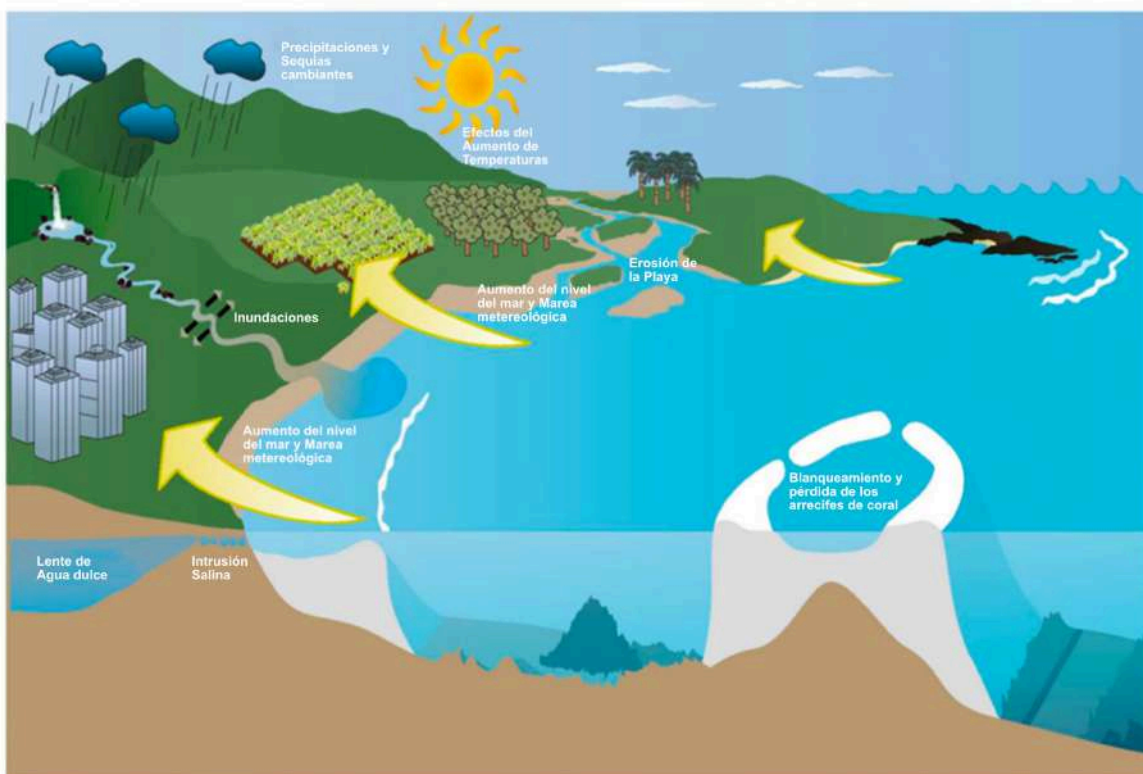
Este Paso se basará en el trabajo preliminar realizado en el Paso I de la Fase I. Su objetivo fundamental es identificar, para la zona geográfica o sistema considerado, sus subsistemas, componentes, procesos relevantes e interrelaciones con factores externos.

Costa o zona costera

Franja de tierra y de aguas costeras, marinas o de estuarios, que se ubican en el litoral de océanos y mares, en donde hay afectación directa y recíproca entre la actividad humana y los procesos de la naturaleza. (Fuente: Diccionario panhispánico del español jurídico).

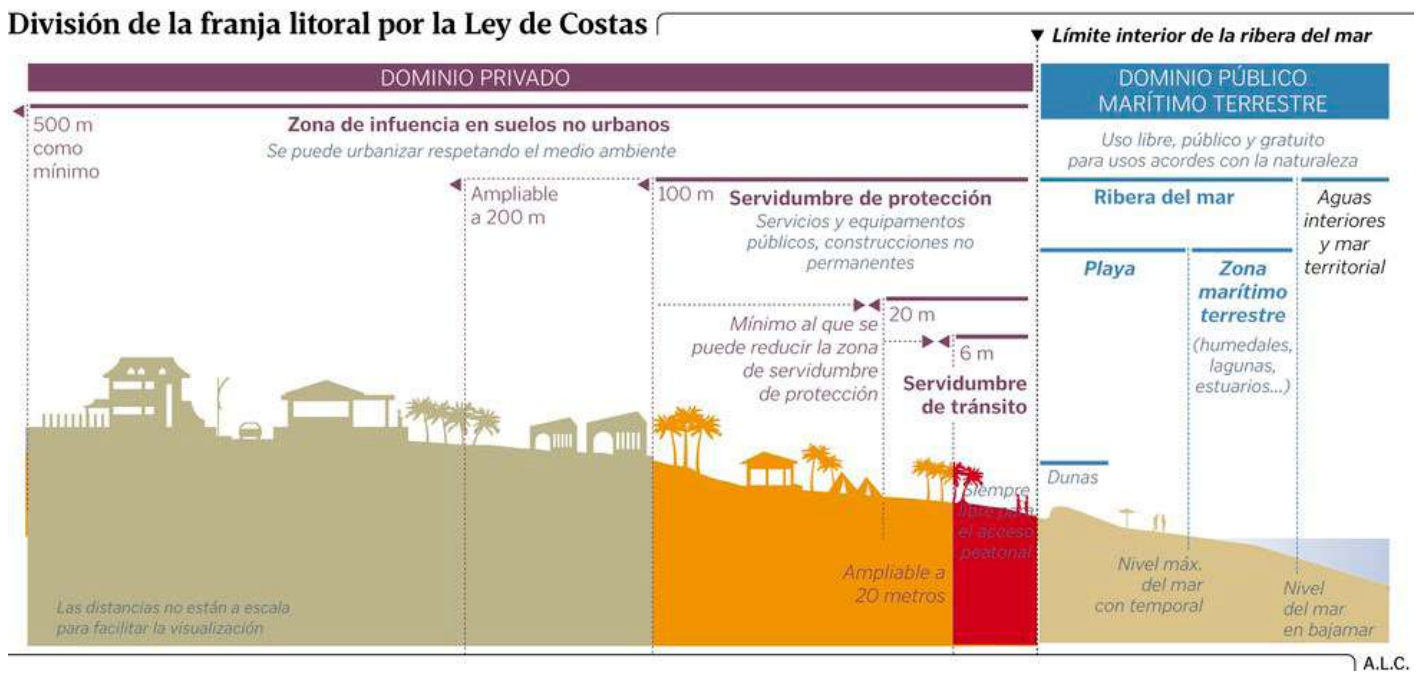
Figura 7.

Descripción esquemática de la costa o zona costera



Independientemente de la definición genérica utilizada en esta Guía, cada país tiene su propia política de gestión de la costa que, generalmente, incluye un conjunto de definiciones de tipo jurídico-administrativo que pueden ser o no consideradas en el análisis de riesgo. No obstante, es necesario hacer énfasis en que la escala de los elementos morfológicos y procesos naturales y socioeconómicos que tienen lugar en la costa trasciende estas delimitaciones, por lo que el estudio de riesgo deberá, en muchas circunstancias, obviar algunos de los mismos en el análisis, pero no en la presentación de resultados.

Figura 8.
Ejemplo de ordenamiento administrativo jurídico de la costa-española.



Para establecer los sistemas, subsistemas, procesos e interrelaciones con factores externos, se considerarán los relevantes de entre los siguientes.

Tabla 9.

Sistemas y subsistemas característicos de la costa para incluir en un análisis de riesgo

SISTEMAS	SUBSISTEMAS	
Naturales	Deltas	
	Bahías	
	Estuarios	
	Barreras, cordones litorales	
	Humedales y marismas	
	Lagunas costeras	
	Acuíferos costeros	
	Acantilados	
	Costa baja rocosa	
	Playas y puntales	
	Dunas	
	Praderas de algas	
	Praderas de vegetación	
	Arrecifes de coral	
	Otros	
Socioeconómico	Asentamientos (población, vivienda, equipamiento y servicios, otros) <ul style="list-style-type: none"> • áreas urbanas • asentamientos rurales • otros: patrimonio cultural, etnográfico 	
	Agricultura y ganadería	
	Pesca y acuicultura	
	Infraestructuras <ul style="list-style-type: none"> • transporte • puertos y aeropuertos • saneamiento y abastecimiento • redes de comunicación • energía (generación y redes de transporte) • obras de protección de la costa 	
	Industria	
	Turismo	
	Otros	
	Jurídico-administrativos	Demarcación político-administrativa (nación, provincia, región, municipalidad, etc.)
		Dominio público marítimo-terrestre y otras figuras de protección de la costa
		Áreas naturales protegidas
Otros		

El análisis de riesgo podrá hacerse considerando:

- o Un ámbito geográfico delimitado
- o Una demarcación administrativa
- o Un sector socioeconómico específico
- o Una infraestructura específica
- o Un ecosistema específico

Tabla 10.

Ejemplos de análisis de riesgo y consideraciones para determinación de sistemas y subsistemas

TIPO	EJEMPLOS	COMENTARIOS	REFERENCIA
Ámbito geográfico específico	C3A: Estudio de Cambio climático en la costa de América Latina y Caribe	Análisis Nivel 2 con cobertura de todos los países de ALC con bases de datos homogéneas para la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.	CEPAL (2012)
Demarcación administrativa	Costa de Uruguay	Análisis Nivel 3 para toda la costa uruguaya con información específica elaborada para el estudio.	MVOTMA (2019)
Sector socioeconómico	Turismo de playa-Principado de Asturias	Análisis Nivel 3 de los riesgos sobre el turismo de sol y playa en las playas del Principado de Asturias.	Toimil et al. (2018)
Infraestructuras	Análisis de riesgos y Plan de Adaptación de los Puertos del Principado de Asturias	Análisis Nivel 1 y 2 de los riesgos del CC y plan de adaptación para un sistema de 24 puertos regionales.	Principado de Asturias (2021)
Ecosistema	Arrecifes de coral	Análisis del riesgo de pérdida de servicio de protección ofrecido por los arrecifes de coral. Híbrido Niveles 2 y 3. Escala global.	Beck et al. (2018)

Paso 2

Identificación de impactos y cadenas de impacto

Objetivo

El objetivo de este paso es identificar los impactos y cadenas de impacto en aquellos elementos en el dominio de estudio expuestos a los efectos del cambio climático.

Impactos

Los impactos generalmente se refieren a los efectos del cambio climático en las vidas, los medios de vida, la salud, el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) y la infraestructura. Los impactos pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos.

- El equipo de trabajo deberá identificar los impactos y desarrollar cadenas de impacto asociadas a los efectos del cambio climático. Para ello, es necesario contar con una buena comprensión del sistema en riesgo que hace absolutamente necesaria la aportación de conocimiento cualificado. En función del sistema en riesgo considerado y su complejidad, el equipo de trabajo podrá contar con especialistas en los subsistemas y sectores involucrados que podrán incorporarse al proceso a través de talleres participativos o la remisión de encuestas o insumos específicos.

Evaluación de impactos

- En función de los objetivos del análisis de riesgo y de las características principales del sistema en riesgo, el equipo de trabajo debe seleccionar aquellos elementos del sistema que puedan estar expuestos al cambio climático y analizar su posible sensibilidad frente a los cambios en los agentes climáticos. Es importante que la selección de los impactos a considerar se haga de común acuerdo con los tomadores de decisiones involucrados en el proceso y con los receptores finales del análisis para garantizar que la selección se ajuste a los fines del trabajo.
- En esta Guía y con el fin de facilitar un análisis preliminar, la relación entre cambios en el clima e impactos sobre elementos expuestos propios del sistema costero se presenta estructurada en sectores de acuerdo con las tablas siguientes. Estas tablas tienen como función facilitar la identificación de posibles impactos tanto en sistemas naturales ubicados en la costa como en sectores especialmente importantes del sistema socioeconómico. Las tablas definen las relaciones de los cambios en los agentes climáticos con sus potenciales impactos para sectores tales como: agricultura, agua, medio urbano e infraestructuras, turismo, transporte, energía, salud, acuicultura y pesca e infraestructuras portuarias, por su importancia en la costa. También se presentan impactos sobre organismos y ecosistemas marino-costeros.

Tabla 11.
Relación entre amenazas de origen climático e impactos esperados por sectores clave en la costa

AMENAZA CLIMÁTICA	AGRICULTURA	AGUA	ASENTAMIENTO E INFRAESTRUCTURAS	TURISMO	TRANSPORTE	ENERGÍA	SALUD
Aumento del nivel medio del mar	Pérdida de superficie cultivable por inundación; posible intrusión de agua salada	Intrusión de agua salada en las aguas superficiales y los acuíferos	Daños en edificios	Destrucción o daño de los recursos turísticos y las estructuras dependientes (transporte, servicios públicos, etc.) y pérdida de superficie de playa por erosión	Inundación de aeropuertos, puertos y carreteras	Infraestructuras, como puertos o refinerías, inundadas	Escasez de agua y alimentos, enfermedades transmitidas por el agua y por vectores, migraciones forzosas y daños a las instalaciones sanitarias.
Extremos de nivel del mar	Inundación de cultivos, posiblemente por agua salada	Daños en las tomas de agua y en las plantas de suministro de agua; introducción de aguas pluviales con sedimento y posiblemente agua salada en las tomas de agua dulce; sobrecarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales; desbordamiento de los aliviaderos	Daños en edificios	Destrucción o daño de los recursos turísticos y las estructuras dependientes (transporte, servicios públicos, etc.)	Inundación de aeropuertos, puertos y carreteras. Daños directos sobre los activos y cese de operaciones.	Daños operacionales y daños a largo plazo en las instalaciones por inundación	Muertes, lesiones físicas, problemas de salud mental, escasez de agua y alimentos, enfermedades transmitidas por el agua y por vectores, migraciones forzosas y daños a las instalaciones sanitarias.
Extremos de viento	Daños en cultivos por viento	Daños en las instalaciones por viento; fallos de suministro eléctrico	Daños en edificios por viento	Destrucción o daño de los recursos turísticos y las estructuras dependientes (transporte, servicios públicos, etc.)	Daños directos por viento y cese de operaciones	Daños en edificios e infraestructuras expuestas por viento	Muertes, lesiones físicas, problemas de salud mental, migraciones forzosas y daños a las instalaciones sanitarias.
Inundación fluvial o por precipitación extrema	Daños en cultivos por inundación	Daños en las tomas de agua y en las plantas de suministro de agua; desbordamiento de las estaciones de bombeo de aguas residuales; sobrecarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales; desbordamiento de los aliviaderos	Daños en edificios; instalaciones de tratamiento de agua y de aguas residuales	Destrucción o daño de los recursos turísticos y las estructuras dependientes (transporte, servicios públicos, etc.) de las zonas inundables	Daños en infraestructuras como carreteras, puentes, pilares de puentes y alcantarillas a causa de los altos caudales y el transporte de sedimentos; posible erosión de las carreteras por socavamiento	Daños en edificios e instalaciones subterráneas por inundación	Muertes, lesiones físicas, problemas de salud mental, escasez de agua y alimentos, enfermedades transmitidas por el agua y por vectores, migraciones forzosas y daños a las instalaciones sanitarias.

AMENAZA CLIMÁTICA	AGRICULTURA	AGUA	ASENTAMIENTO E INFRAESTRUCTURAS	TURISMO	TRANSPORTE	ENERGÍA	SALUD
Sequías	Daños en cultivos debido a escasez de agua y al aumento de la susceptibilidad a las plagas y enfermedades	Descenso del nivel de los embalses y las aguas subterráneas, disminución del suministro de agua, aumento de la sedimentación	Daños en el paisaje; recursos hídricos limitados	Las restricciones de agua y las condiciones extremas tienen un impacto negativo en el turismo y limitan el crecimiento del sector turístico	Daños en el paisaje y reducción de las capacidades de operación en infraestructuras que requieren uso de agua	Agua limitada para usos de procesamiento y refrigeración	Deshidratación. Malnutrición y desnutrición.
Extremos de temperatura del aire	Daños en cultivos y pérdida de producción	Pérdida de aguas superficiales por aumento de la evaporación; mayor probabilidad de contaminación microbiana	Aumento de la demanda de calefacción y refrigeración	Las condiciones extremas y la falta de electricidad/aire acondicionado tienen un impacto negativo en el turismo	Daños en el pavimento por deformación o reblandecimiento del asfalto.	Refrigeración menos eficiente de los sistemas de energía, reducción de la producción de energía	Agotamiento, calambres, síncope, derrames cerebrales, trastornos renales, enfermedades psiquiátricas, enfermedades pulmonares crónicas, diabetes y accidentes cerebrovasculares. Pérdida de productividad laboral
Incremento de la temperatura superficial del mar (SST)	Sin afección	Cambios en el ciclo del agua	Sin afección	Los ecosistemas y los arrecifes son una atracción para el turismo y cualquier impacto negativo en ellos resultaría en un impacto negativo en el turismo	Sin afección	Afección a sistemas de refrigeración	
Olas de calor marinas	Sin afección						
Aportaciones de agua salada	Salinización de las tierras de cultivo; daños en infraestructuras agrícolas	Salinización de las aguas superficiales y los acuíferos; daños en las infraestructuras de suministro y tratamiento de agua	Daños en infraestructuras. Reducción de agua disponible para abastecimiento	Daños en infraestructuras. Reducción de agua disponible para abastecimiento	Daños en infraestructuras	Daños en infraestructuras. Falta de recurso para refrigeración.	Las poblaciones de peces y la producción pesquera disminuyen, lo que afecta a la ingesta de proteínas de la población.
Acidificación del océano	Sin afección directa	Sin afección directa	Daños sobre infraestructuras de concreto	Los ecosistemas y los arrecifes son una atracción para el turismo y cualquier impacto negativo en ellos resultaría en un impacto negativo en el turismo	Daños sobre infraestructuras de concreto expuestas	Daños sobre infraestructuras de concreto expuestas	Escasez de agua y alimentos, enfermedades transmitidas por el agua y por vectores, migraciones forzadas. Afección sobre la producción pesquera

Tabla 12.

Descripción de la relación entre el cambio en los agentes climáticos que constituyen la amenaza, sus efectos y las implicaciones e impactos sobre los diferentes elementos que constituyen la cadena de valor. (Fuente: Elaboración propia a partir de Daw et al. 2009 y WordFish Center, 2007)

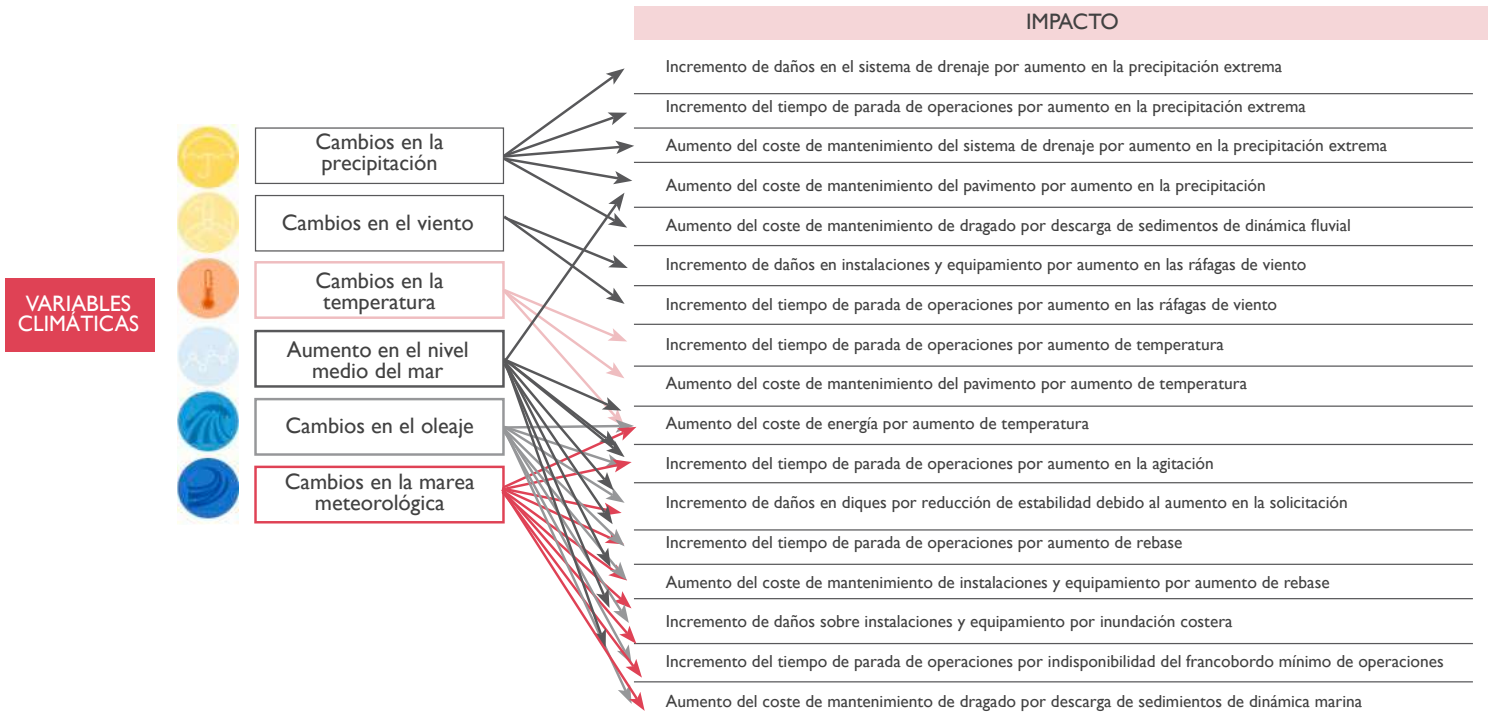
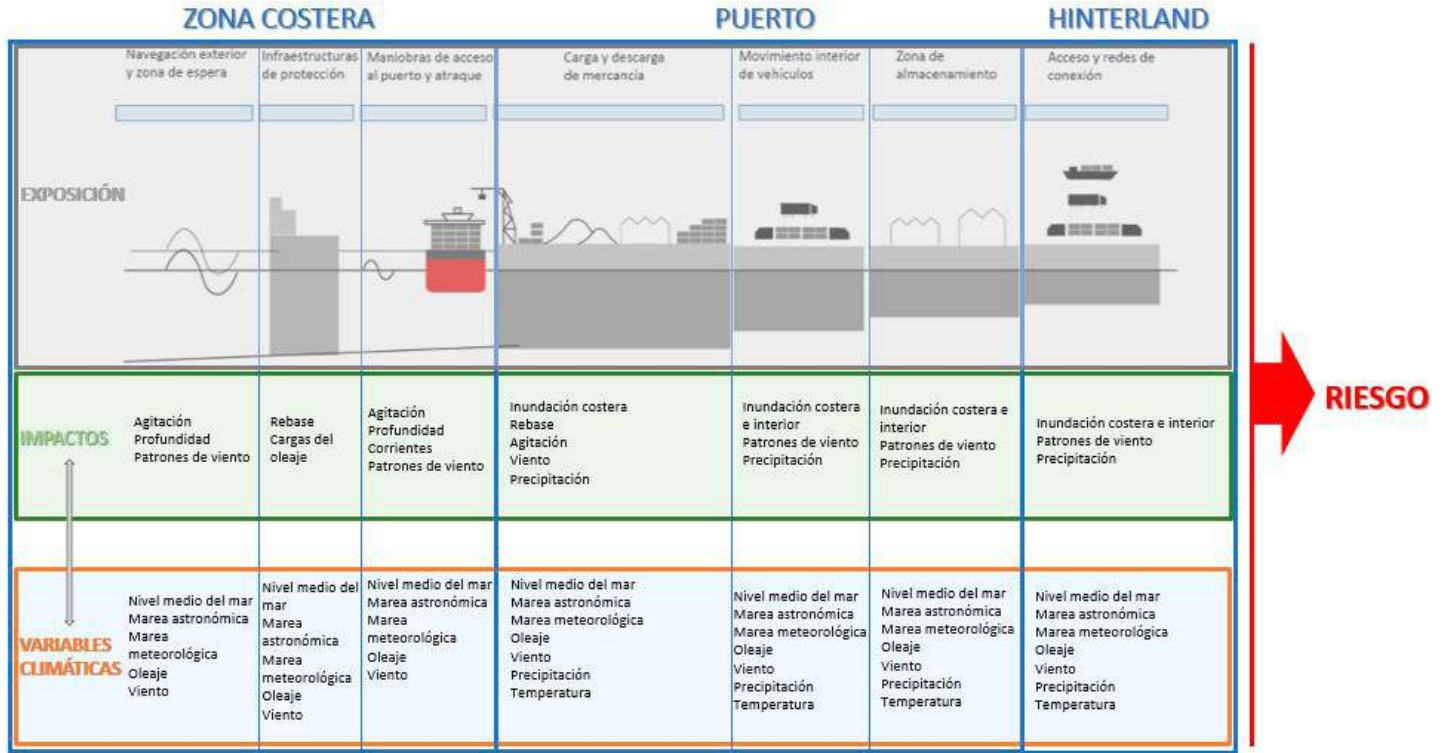
CAMBIOS EN LOS AGENTES CLIMÁTICOS	EFFECTOS	IMPLICACIONES O IMPACTOS
Aumento del nivel medio del mar	Pérdida de territorio	Reducción de superficie para las comunidades. Reducción de superficie para acuicultura.
	Cambio en los estuarios	Cambios en la abundancia, distribución y composición del stock de pesquerías.
	Intrusión salina	Reducción del acceso a agua dulce y potable. Reducción de las pesquerías de agua dulce. Introducción de especies de agua salobre.
	Pérdida de ecosistemas costeros o de sus servicios	Reducción de alevinaje y stocks pesqueros. Mayor exposición a oleaje, marea meteorológica y viento.
	Erosión Pérdida en la operatividad de los puertos y embarcaderos Pérdida de viviendas	Incremento de vulnerabilidad y riesgo de las comunidades que viven en la costa y de las infraestructuras.
	Incremento de la exposición frente a eventos de tormenta	Incremento de daños y aumento en los costes de reparación, seguros o de reducción de riesgo y adaptación. Aumento de riesgos sobre las comunidades.
Aumento en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas	Olas y marea meteorológica más grandes. Mayor inundación costera Mayor inundación continental por incremento en la precipitación. Cambios en la salinidad del agua en acuíferos o lagunas por eventos de inundación. Introducción de agentes patógenos o depredadores en instalaciones de acuicultura durante eventos de inundación.	Daños al equipamiento e infraestructura pesquera. Reducción de las pesquerías por intrusión salina. Alteración en la distribución y desplazamiento de las especies. Daño sobre los medios de vida y las comunidades.

CAMBIOS EN LOS AGENTES CLIMÁTICOS	EFECTOS	IMPLICACIONES O IMPACTOS
	<p>Incremento en el número de días que cesa la actividad pesquera Incremento del riesgo de accidentes</p>	<p>Incremento en los riesgos asociados a la actividad pesquera, pérdida de ingresos y medios de vida, incremento en la vulnerabilidad de las comunidades más desfavorecidas.</p>
<p>Aumento en la frecuencia y/o intensidad de los ciclones tropicales</p>	<p>Olas y marea meteorológica más grandes. Daños directos por viento Mayor inundación costera Mayor inundación continental por incremento en la precipitación. Cambios en la salinidad del agua en acuíferos o lagunas por eventos de inundación Introducción de agentes patógenos o depredadores en instalaciones de acuicultura durante eventos de inundación</p>	<p>Daños al equipamiento e infraestructura pesquera. Reducción de las pesquerías por intrusión salina. Alteración en la distribución y desplazamiento de las especies. Daño sobre los medios de vida y las comunidades. Incremento en los riesgos asociados a la actividad pesquera, pérdida de ingresos y medios de vida, incremento en la vulnerabilidad de las comunidades más desfavorecidas.</p>
<p>Sequías</p>	<p>Falta de recurso hídrico Cambios en la salinización Cambios en el nivel de lagos y lagunas Reducción de la descarga fluvial</p>	<p>Disminución del agua como recurso. Daños en acuicultura. Cambio en las aportaciones de sedimento.</p>
<p>El Niño o la Niña</p>	<p>Alternancia de eventos de precipitación extrema, sequías. Aumento en la frecuencia de huracanes. Cambios en la temperatura del agua.</p>	<p>Incremento de riesgos sobre población, desplazamiento de especies, cambios en la productividad primaria.</p>
<p>Cambio en la cantidad, localización y distribución temporal de la precipitación</p>	<p>Cambio en los patrones de migración y reclutamiento y en el éxito de reclutamiento de los peces Cambios en los niveles en los ríos, lagos y lagunas y en los patrones de circulación del agua Menor calidad de agua para acuicultura Menor calidad de agua contribuyendo a más enfermedades Incremento de la competición por el recurso con otros usuarios del agua Reducción o alteraciones en las aportaciones de agua con mayor riesgo de sequía</p>	<p>Cambios en los recursos pesqueros.</p>

CAMBIOS EN LOS AGENTES CLIMÁTICOS	EFECTOS	IMPLICACIONES O IMPACTOS
<p>Cambios en la temperatura superficial del mar (SST)</p>	<p>Bloom (afloramiento) de algas más frecuentes. Menor cantidad de oxígeno disuelto. Mayor incidencia de enfermedades y parásitos. Ecosistemas locales alterados con cambios en competidores, depredadores y especies. Invasoras.</p> <p>Cambios en la composición del fitoplancton</p> <hr/> <p>Mayores temporadas de crecimiento. Menor mortalidad natural en invierno. Mejora de las tasas metabólicas y de crecimiento</p> <hr/> <p>Mejora de la productividad primaria</p> <hr/> <p>Cambios en los periodos y éxito de migraciones, desove, pico de abundancia y en la proporción de sexos</p> <hr/> <p>Cambios en los rangos adecuados de localización y tamaño para algunas especies</p> <hr/> <p>Daño en los arrecifes de coral que sirven como zonas de alevinaje y que protegen la costa de la acción del oleaje y de la marea meteorológica</p>	<p>Cambios sobre el recurso pesquero, pérdida de servicios de protección, incidencia sobre ecosistemas costeros clave.</p>
<p>Aumento del CO2 y Acidificación</p>	<p>Daño sobre especies calcáreas tales como moluscos, crustáceos, corales, equinodermos y parte del fitoplancton</p>	

Figura 9.

Relaciones entre subsistemas portuarios, impactos y variables climáticas inductoras (Losada et al. 2017).



De manera análoga, los subsistemas naturales están sujetos a impactos derivados del cambio climático. En la Tabla siguiente se presenta un resumen inicial de impactos.

Tabla 13.
Relación entre amenazas de origen climático e impactos esperados por ecosistemas costeros

CAMBIO EN EL SISTEMA CLIMÁTICO	ORGANISMO/ ECOSISTEMA	IMPACTO ESPERADO
Incremento de temperatura	Fanerógamas	Pérdida estacional y permanente de biomasa con el aumento en la frecuencia e intensidad de las temperaturas extremas. Cambios en la estructura de la comunidad.
	Manglares	Cambios en la distribución de especies y pérdida de hábitat.
	Costas rocosas	Desplazamiento hacia los polos de las especies. Afección a los patrones de zonación debido a los cambio en la temperatura atmosférica y de la superficie del mar.
	Comunidades de laminarias	Declive de las comunidades de laminarias con el aumento de la temperatura superficial del mar.
	Fitoplancton	Cambios en la distribución y frecuencia de floraciones de algas nocivas. Tasas de crecimiento alteradas, dependiente de la especie. Desplazamiento hacia los polos de las especies. Alteraciones en la abundancia. Aparición anticipada.
	Zooplancton	Desplazamiento hacia los polos de las especies. Alteración de la fenología. Alteración de la abundancia.
	Corales	Incremento en la frecuencia y severidad de los episodios de blanqueo del coral con los cambios en la temperatura superficial del mar. Aumento en la ocurrencia de enfermedades. Pérdida de especies en el arrecife de coral debido al blanqueamiento y mortalidad.

CAMBIO EN EL SISTEMA CLIMÁTICO	ORGANISMO/ ECOSISTEMA	IMPACTO ESPERADO
	Aves marinas	Desplazamiento hacia los polos de las especies y cambios en la abundancia hacia especies con mayor tolerancia a aguas más cálidas. Migración anticipada de especies de aves en regiones templadas y subtropicales. Alteración de las épocas de cría con afección a los periodos de nidificación y puesta. Éxito de la cría afectada por el cambio climático y la disponibilidad de presas. La alteración de los hábitats costeros tiene incidencia sobre las poblaciones de aves nidificadoras.
	Tortugas marinas	Desplazamiento hacia los polos de las áreas de alimentación de especies. Cambios en la distribución de sexos. Cambios en la cría.
	Mamíferos Habitats polares	Cambios en las áreas de distribución de los cetáceos. La pérdida de espesor o pérdida definitiva del hielo conduce a una mayor penetración de UV en el sistema marino. Cambios en los patrones de pérdida de hielo estacional. La pérdida de hielo conduce a cambios en la distribución de la macrofauna dependiente del hielo.
	Especies demersales y pelágicas	Las áreas de distribución de las especies se alteran con el calentamiento. Las fechas de migración se alteran con el calentamiento.
Cambios en la intensidad del viento	Fitoplancton y zooplancton	Alteración de la productividad debido procesos de mezcla de las aguas superficiales forzados por el viento. Cambios en la estructura de las comunidades debido a procesos de mezcla superficial.
	Especies de peces costeras	Abundancia de peces vinculada con la intensidad de viento.
	Aves marinas	Alteración en el éxito de la cría debido al cambio en la intensidad y patrones de viento.
Alteración en el sistema de corrientes	Fanerógamas	Cambios en la distribución de especies por cambios en las corrientes.
	Manglares	Colapso del control de la distribución latitudinal debido a la translocación de la corriente de propágulos. Cambios en los patrones de distribución local debido a cambios en los patrones de transporte de sedimentos.
	Comunidades de laminarias	Extinción local de especies de aguas frías con cambios en las corrientes y/o aparición de especies de aguas cálidas.
	Costas rocosas	Desplazamiento hacia los polos de las especies de aguas cálidas.
	Fitoplancton y zooplancton	Cambios en la distribución y presencia de comunidades de plancton con una extensión hacia los polos de las especies de aguas cálidas.
Descenso en la profundidad de la capa de mezcla/incremento de la estratificación	Aves marinas	Incremento de la mortalidad y reducción en el éxito de reproducción.
	Especies pelágicas	Cambios en la abundancia y distribución debido a la estratificación térmica de las capas superiores del océano.

CAMBIO EN EL SISTEMA CLIMÁTICO	ORGANISMO/ ECOSISTEMA	IMPACTO ESPERADO
Aumento de la intensidad de las tormentas/mayores eventos de inundación por cambios en la precipitación	Fitoplancton y zooplancton	Cambios en la distribución y abundancia debido a la alteración de zonas de estratificación. Reducción en la abundancia de fitoplancton.
	Fanerógamas	Destrucción física de las camas de fanerógamas. Los cambios en los regímenes de sedimentación causan mortalidad. Cambios en la composición de las comunidades al modificarse la claridad del agua.
	Manglares	Cambios en la abundancia de las comunidades asociada asociados al incremento en los episodios de precipitación. Éxito reproductivo y crecimiento influenciados por la actividad de las tormentas.
	Costas rocosas	El incremento en la energía del oleaje altera la estructura de las comunidades. El incremento en la frecuencia de las tormentas afecta la estructura de las comunidades y sus funciones prevalentes. El incremento en las aportaciones de agua dulce altera la zonación.
	Comunidades de laminarias	Cambios en la estructura de la comunidad. Mortalidad masiva por daño físico.
	Corales	Eventos masivos de blanqueamiento y mortalidad asociada a grandes eventos de inundación por agua dulce. Cambios en la estructura y composición de las comunidades arrecifales.
	Fitoplancton y zooplancton	Enriquecimiento con nutrientes de las aguas superficiales debido a la escorrentía terrestre. Afloramiento de aguas ricas en nutrientes forzado por tormentas.
	Tortugas y mamíferos marinos	Incremento de mortalidad y reducción del éxito de la cría.
	Aves marinas	Incremento del alimento disponible. Restricción y alteración del alimento y migración.
Aumento del nivel del mar	Fanerógamas	Pérdida de hábitat. Reducción en las tasas de crecimiento y cambios en la estructura de las comunidades debido a menores niveles de iluminación.
	Manglares	Pérdida de hábitat. Cambios en la distribución espacial del hábitat.
	Aves marinas	Pérdida de hábitat para anidamiento y cría.
	Tortugas y mamíferos marinos	Pérdida de hábitat para anidamiento y cría.
	Corales	Mortalidad y redistribución de comunidades.

Forzamientos de origen no climático

A la hora de analizar los impactos y las cadenas de impacto en la costa, es necesario considerar que existe un conjunto de forzamientos de origen no climático que pueden generar efectos sinérgicos que compensen o agraven el impacto producido por el cambio climático. Asimismo, estos forzamientos pueden contribuir a producir efectos en cascada que sea necesario considerar a la hora de establecer las cadenas de impactos. Entre los más importantes se encuentra los siguientes:

- **Movimiento vertical del terreno o respuesta tectónica**

La corrección del ANMM para considerar el movimiento vertical del terreno es importante ya que, dependiendo de su signo, pueden amplificar o reducir sus efectos. Mientras que los movimientos verticales ascendentes (como el ajuste isostático glacial) reducen el ANMM local, la subsidencia (hundimiento vertical del terreno) ya sea por efecto natural o artificial, contribuye a aumentar su efecto y, por tanto, a favorecer una mayor inundación. Este último efecto es especialmente relevante en los grandes deltas fluviales en proceso de subsidencia y, especialmente, algunas grandes ciudades situadas en deltas y llanuras aluviales. La obtención de tasas de movimientos verticales del terreno puede ser problemática, ya que se requieren series largas de datos y la subsidencia inducida por el hombre, generalmente, debida a la extracción de agua del subsuelo, puede variar con el tiempo. La subsidencia puede verse también afectada por la alteración en el aporte de sedimentos inducida por el hombre en el curso de los ríos. En las zonas tectónicamente activas como es el caso de la costa chilena, la mayor parte de los cambios verticales del terreno pueden producirse durante eventos sísmicos poco frecuentes que no son predecibles y contribuir positiva o negativamente al efecto local del ANMM e incluso cambiar de signo entre sismo y sismo.

- **Alteración en las aportaciones de sedimento a la costa**

Las intervenciones humanas en las cuencas fluviales y a lo largo del litoral han generado un impacto importante al alterar las aportaciones de sedimento a la costa. La construcción de barreras o presas a lo largo del cauce fluvial, el desvío de parte del caudal para regadío o el dragado de arena para otros usos han supuesto una reducción de aporte de sedimento, mientras que los cambios en los usos del suelo han favorecido el incremento de la escorrentía y consiguientemente del aporte de sedimentos. Estas actuaciones tienen un impacto sobre los deltas, humedales o campos de manglar, así como sobre las zonas de la costa adyacentes a las desembocaduras que necesitan el sedimento para su equilibrio. Además, la construcción de barreras como puertos o espigones a lo largo de la costa obstaculiza que el sedimento llegue a tramos de la costa en erosión. Estos procesos contribuyen a agravar el impacto del ANMM o de la frecuencia de las tormentas como inductores principales de la erosión de la costa.

- **Aportaciones de nutrientes**

La descarga de nutrientes inorgánicos no disueltos (nitrógeno, fósforo) de origen antropogénico puede conducir a la degradación de los ecosistemas costeros. El origen principal suele provenir del uso de fertilizantes en el sector de la agricultura establecido directamente en la costa o en el curso de ríos próximos a las desembocaduras. La reducción en la descarga fluvial, producto de la reducción de la precipitación combinado con la descarga de fertilizantes puede producir un efecto sinérgico que condicione el hábitat de especies tales como los manglares.

- **Hipoxia**

La presencia de un exceso de nutrientes en las aguas costeras conduce a la eutrofización y consiguiente descomposición de la materia orgánica, lo que es la causa principal de la reducción en la concentración de oxígeno (hipoxia). La combinación de la hipoxia especialmente importante en estuarios y lagunas, con el incremento de la temperatura del agua y la alteración del ciclo hidrológico, constituye un gran problema para los hábitats costeros.

Definición de cadenas de impacto

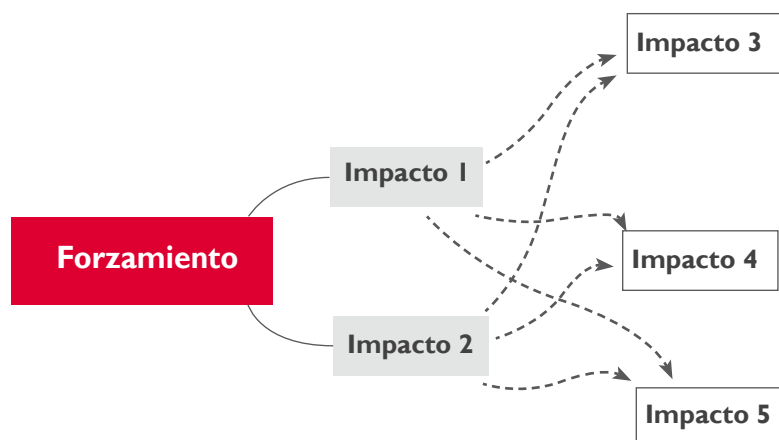
Cadenas de impacto

Las cadenas de impacto se definen como la representación gráfica de cómo un cambio en alguna de las variables climáticas de origen atmosférico o marino se propaga a través del sistema en riesgo a través de la generación de impactos directos e indirectos. Su función es facilitar la comprensión, visualización, sistematización y priorización de los factores climáticos que inducen el riesgo.

- A partir de los impactos definidos anteriormente, el equipo de trabajo identificará las cadenas de impacto para el sistema en riesgo.

Figura 10.

Representación genérica de una cadena incluyendo impactos directos e indirectos



- En la Figura 10 se puede encontrar un ejemplo de cadena de impacto aplicada en un sistema costero genérico en el que se observa o se proyecta un aumento del nivel medio del mar. Como puede verse, el ANMM afecta a manglares, arrecifes de coral, a la biodiversidad y de manera directa a las comunidades humanas localizadas en la costa. La cadena de impactos pone de manifiesto que, además de los impactos directos sobre manglares y arrecifes, se produce un efecto en cascada que acaba afectando a medios de vida y, por tanto, a las comunidades costeras que a su vez se ven también directamente impactadas por el ANMM. La falta del análisis de estas cadenas de impacto puede infraestimar las consecuencias de los efectos del cambio climático.

Figura 11.

Ejemplo de cadena de impactos originados por aumento del nivel medio del mar en una costa tropical (adaptado de: Pramova et al. 2013)

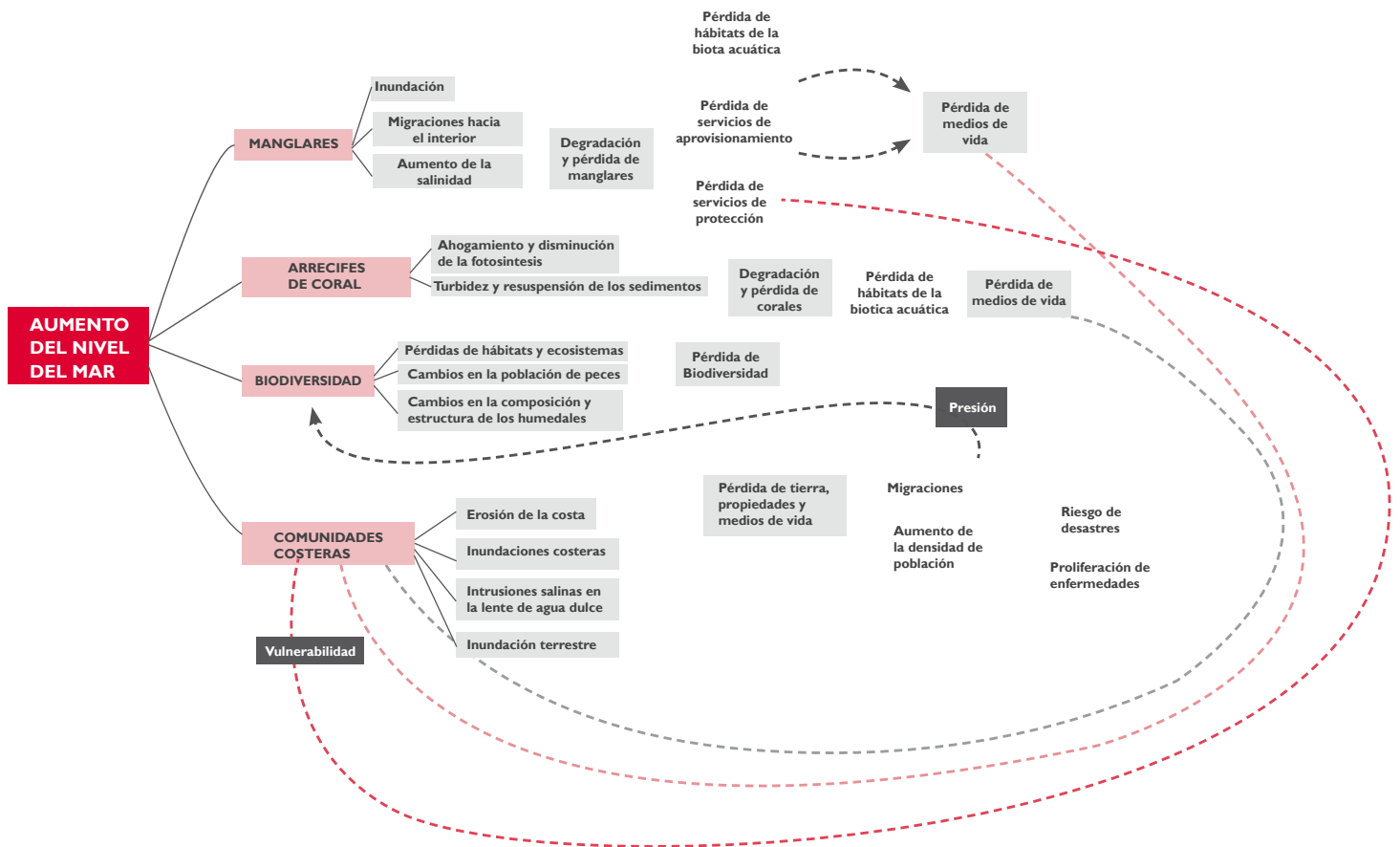
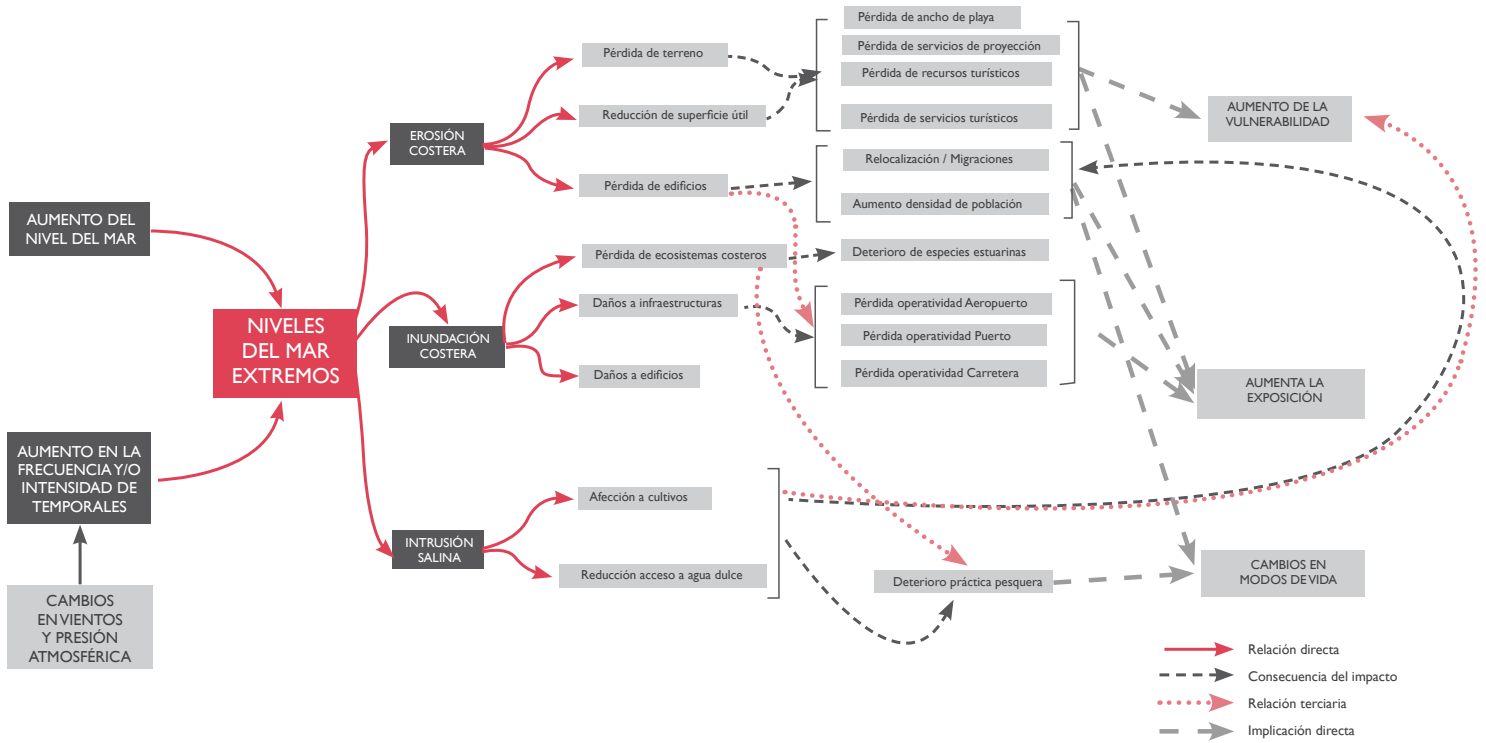


Figura 12.

Ejemplo de cadena de impactos asociados a los niveles del mar extremos elaborada para el análisis de riesgos del cambio climático para el Área Metropolitana de Lima (IHCantabria, 2022).



Paso 3

Recopilación de información histórica de impactos

La recopilación de información histórica de impactos o cadenas de impacto es una parte esencial, independientemente del nivel del análisis considerado. Conocer la información histórica de impactos es necesario para:

- ✓ Corroborar o extender los impactos y cadena de impactos identificados en el Paso 2.
- ✓ Identificar umbrales basados en información histórica, críticos o reversibles, tal y como se especifica en el Paso 4.

- ✓ Facilitar la selección y evaluación de indicadores de impacto necesarios para el análisis Nivel 2.
- ✓ Calibrar y validar modelos de procesos de impactos utilizados en el Nivel 3.
- ✓ Contribuir a ilustrar con casos reales las actividades de concienciación y comunicación vinculadas a cualquiera de los análisis de riesgo.
- ✓ Identificar posibles fuentes de incertidumbre.

La recopilación de la información histórica de impactos no es tarea sencilla, puesto que no siempre se encuentra debidamente documentada. Entre las fuentes usuales de información se encuentran: entidades competentes en el territorio o en los activos naturales o socioeconómicos en los que se han producido daños de origen meteorológico o climático en el pasado (administraciones públicas y empresas); entidades responsables de la protección civil o de la reconstrucción; unidades militares; entidades vinculadas al sector de los seguros y medios de comunicación en general y otros. Será necesario verificar en cada caso la calidad de la información. Su utilización para análisis cuantitativos debe hacerse únicamente si se conocen los procedimientos para la recogida de datos.

Es necesario tener en cuenta que, en muchas ocasiones, será más fácil encontrar información relativa a las consecuencias económicas, sociales o ambientales que al impacto. En ese caso, será necesario analizar detalladamente, si dichas consecuencias son debidas a un impacto, cadena de impactos o conjunto de impactos para tratar de identificar los procesos de la mejor manera posible.

Con el fin de facilitar la recogida de información, en la Tabla 14 se muestra un ejemplo de cómo recoger información específica para un evento histórico.

Tabla 14.

Ejemplo de aplicación de la Tabla para la recopilación de impactos históricos

Tabla: Eventos históricos de impactos	Nombre:	Fecha de cumplimentación 21/2/2021
---------------------------------------	---------	------------------------------------

Propósito: Recopilar información sobre eventos históricos en los que se han producido impactos de origen climático. Esta información es útil para identificar impactos, cadenas de impacto, para valorar la sensibilidad a los forzamientos de origen climático de activos, funcionalidades y operaciones, así como para identificar umbrales críticos.

Impacto: Describir el tipo de impacto de interés (p.ej., inundación, erosión, etc.)

Evento tipo/Fecha: Evento causante (ciclón tropical, huracán, marea meteorológica extrema, ola de calor, mar de fondo, etc.)

Características del evento: Describa aquellas características que considere

Se deberá completar una tabla independiente para cada uno de los eventos registrados

Impacto	Inundación	Fuente de información/Fecha
Evento tipo/Fecha	Tormenta Iñigo, 20 de septiembre de 2016.	Consortio de Compensación de Seguros.
Características del evento	Marea meteorológica (aprox. 2 m) y fuerte oleaje (Hs=7 m y T=12 s) Precipitación extrema (100 mm/h)- 26 horas.	1. Informe de evaluación de daños de CCS (1/7/2017). 2. Informe evaluación de daños Unidad Militar de Emergencias. 3. Informe Protección Civil (15/10/2016).

Complete el formulario siguiendo las recomendaciones que aparecen en las dos tablas inferiores

Sector/Activo impactado	Descripción del impacto	Magnitud del impacto	Recuperación	Fuente de información/Fecha
Urbanizaciones de viviendas municipio X	Inundación de garajes, sótanos y planta primera (cota de las viviendas + 1.5 m) sobre el nivel del mar. Estimación de daños 1.8 M€.	3	Utilización de bombas y limpieza. Retirada de vehículos dañados. Indemnización (seguros) por daños en vehículos y viviendas.	Informe de daños Ayto. XX Informe de compensaciones Consorcio de Compensación de Seguros.
Playas de costa oriental	Erosión con afección a zona dunar y paseos marítimos (anchura máxima de playa seca antes de tormenta +40 m). Estimación de daños 6.8 M€.	4	Reconstrucción de paseos marítimos y regeneración de playas y sistemas dunares.	Informe Dirección General para la Sostenibilidad de la Costa y el Mar (3/8/2019).
Tramo de ferrocarril de cercanías de X a X	Rebase sin daño permanente a la vía férrea. Interrupción 18 horas. (cota de la vía +5 m sobre el nivel del mar). Estimación directa (3000 personas afectadas).	2	Recuperación del servicio. Recarga de balasto en operaciones de mantenimiento en localizaciones específicas sin pérdida de servicio.	Servicio de transporte metropolitano de transportes (solicitud de información directa).
Praderas de posidonia del tramo XX	Destrucción total (10 hectáreas) de pradera a entre 5-8 m de profundidad. Sin daños en profundidades mayores.	5	Proyecto de restauración pendiente.	Informe Dirección General para la Sostenibilidad de la Costa y el Mar (3/8/2019) Artículo de investigación Instituto X de Investigaciones Marinas (2020).

Notas

Sector/Activo Impactado	Introduzca el sector/activo o área afectada para el que se describe el impacto.
Descripción del impacto	Introduzca un texto que describa el impacto o evento que ha producido el impacto sobre el activo considerado. Incluya información sobre umbrales críticos a partir de los cuales se ha detectado el daño (p.ej., cota de inundación a partir de la que se ha producido la afección). Incluya información cuantitativa sobre el daño, si es posible (p.e. extensión de la mancha de inundación en has).
Magnitud del impacto	Introduzca una valoración de acuerdo con los criterios recogidos en la tabla inferior.
Recuperación	Introduzca información relativa al proceso de recuperación del impacto (tiempo, coste, tipo de acciones, etc.).
Fuente de información/Fecha	Introduzca información sobre la fuente y fecha en la que se basa el contenido de la tabla (informe, datos, etc.) .

Magnitud del impacto

5 Catastrófico/Inadmisible- Daños permanente y/o pérdida de servicio o funcionalidad.

4 Elevado- Daño extenso que requiere un esfuerzo de rehabilitación o reconstrucción grande.

3 Moderado – Daño importantes y pérdida de servicio. Esfuerzo de rehabilitación o reconstrucción pequeño o mediante mantenimiento ordinario.

2 Menor – Pérdida de servicio o funcionalidad localizado. No hay daño permanente.

1 Insignificante – No hay pérdida alguna de servicio o funcionalidad ni daño.

Paso 4

Análisis de sensibilidad a agentes climáticos. Umbrales.

En esta Guía este paso es un aspecto fundamental que tiene implicaciones para el análisis de riesgos, independientemente del nivel de análisis finalmente seleccionados.

El análisis de sensibilidad y de umbrales es una parte esencial del análisis de riesgos, dado que permitirá que el grupo de trabajo evalúe cuál es el nivel de respuesta de un impacto determinado (intensidad y frecuencia) a los cambios en las variables climáticas.

Para ello, a partir de criterio experto, de la recopilación de información histórica de impactos o mediante el uso de indicadores de las componentes del riesgo, el equipo de trabajo deberá identificar, a partir de la tabla de impactos y su relación con los forzamientos climáticos elaboradas con anterioridad, si la magnitud del impacto o el nivel de riesgo se incrementa o se reduce con los cambios en la peligrosidad, calificando, de manera cualitativa o cuantitativa si no habrá cambio, o si se producirán cambios (incremento o disminución) que pueden ordenarse en bajo, medio o alto.

En el marco del análisis de sensibilidad es necesario considerar muy especialmente la existencia de posibles umbrales críticos. En este sentido, se define un umbral como un punto para el que un indicador determinado, supera un valor a partir del cual el sistema analizado deja de cumplir alguna de sus funciones (desde el punto de vista económico, social, ambiental o tecnológico). Los umbrales pueden definirse en función de indicadores de riesgo o de indicadores de algunos de los componentes del riesgo (peligrosidad, exposición, impacto o vulnerabilidad) o sus interrelaciones.

Una vez establecidos los indicadores que se consideran representativos del aspecto que se desea analizar, en esta Guía consideraremos las siguientes dos clasificaciones para los umbrales, en función de su origen o de su criticidad.

En general, los umbrales son difíciles de cuantificar. Por ello, existen diferentes formas de estimarlos, que, en función de su origen, se pueden clasificar en:

- **Umbrales prescriptivos:** aquellos establecidos por normativa o criterios de diseño; son de carácter cuantitativo y están prefijados. (p.e. agitación de oleaje máxima admisible en una terminal de contenedores)

- **Umbrales basados en información histórica:** aquellos identificados a partir de eventos históricos; generalmente se establecen a partir de la información, a menudo incompleta de eventos pasados. Se establece un valor cuantitativo con un cierto grado de arbitrariedad. (p.e. retroceso máximo admisible en la línea de costa por efecto de huracanes)
- **Umbrales basados en buenas prácticas:** son aproximados y basados en la experiencia o en criterio experto. Se establece un valor cuantitativo con arbitrariedad.


Otro aspecto importante por considerar es la posible implicación derivada de su superación. En este sentido, se pueden clasificar en función de su criticidad, en:

- **Umbrales críticos reversibles:** aquellos cuya superación puede revertirse mediante la implementación de medidas de adaptación. (p.e. caudal de rebase tolerable en una obra de protección).
- **Umbrales críticos irreversibles:** aquellos cuya superación conduce a una situación irreversible no corregible con la implementación de medidas de adaptación y, ocasionalmente, a un nuevo estado del sistema (p.e. nivel de inundación permanente que hace una especie inviable en su hábitat actual).


Que en un sistema se alcance o supere un umbral dependerá de varios factores, entre otros, la capacidad de adaptación autónoma del sistema o la adaptación planificada.

En el caso de que los indicadores de respuesta del sistema frente al cambio climático se formulen en términos de riesgo o consecuencias, el establecimiento de umbrales críticos y la monitorización de su comportamiento, ante diferentes escenarios, juegan un papel primordial a la hora de establecer estrategias flexibles de adaptación puesto que indicará si el nivel de riesgo tolerable establecido va a ser alcanzado o no.


Para el establecimiento de los umbrales será necesario dar los siguientes pasos:




Hacer uso de los resultados obtenidos en los Pasos 1, 2 y 3 para caracterizar el sistema en riesgo, los impactos y cadenas de impacto identificados, así como sus relaciones con los forzamientos climáticos que los inducen.



Determinar las tendencias de largo plazo, en la variabilidad climática y los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos que se proyectan para los forzamientos climáticos anteriores.



Identificar los umbrales críticos. Para ello, partiendo del análisis de sensibilidad anteriormente descrito, se tratará de identificar aquellos cambios en las proyecciones de los forzamientos climáticos que superen los niveles de tolerancia admisibles en términos de funcionalidad o integridad del sistema considerado, teniendo en consideración aspectos sociales, ambientales y económicos. Esto puede hacerse a partir del análisis de las condiciones históricas o presentes o con criterio experto respondiendo a preguntas tales como: ¿A partir de qué aumento del nivel medio del mar una defensa costera deje de cumplir sus criterios de diseño? ¿A partir de qué aumento de la temperatura media superficial del mar se produce la desaparición de una determinada especie? ¿A partir de qué frecuencia de eventos de inundación un aeropuerto en la costa reduce su operatividad por debajo del umbral de diseño? ¿Cuál es la cota de inundación extrema que puede conducir a los daños irreversibles en un sistema dunar?



Evaluar la resiliencia y la capacidad de adaptación del sistema a los cambios proyectados. A la hora de evaluar cuándo los sistemas en riesgo pueden llegar a alcanzar un umbral crítico, será necesario considerar estos dos factores. Por ejemplo, la resiliencia frente a la erosión de una playa natural con un sistema dunar es mayor que la correspondiente a una playa urbana. Asimismo, la resiliencia de un sistema de manglar frente al aumento del nivel medio del mar es mayor para un manglar en un entorno natural que en uno fuertemente antropizado.

Como se ha dicho anteriormente, para poder abordar un análisis de sensibilidad o determinar los umbrales críticos, es esencial recopilar la información sobre las tendencias de cambio observadas y las proyecciones de las variables climáticas asociadas a los impactos. En la Tabla 15 y como una información de partida, se recoge un resumen de los cambios observados y proyectados en las variables principales de las dinámicas costeras y su vinculación con los impactos más relevantes. Aunque es evidente que una regionalización de esta información sería lo más adecuado, puede servir como base para un análisis basado en criterio experto en ausencia de datos a la escala espacial deseada. Obsérvese que, aunque se ha publicado ya el informe del AR6 sobre física del clima (Grupo I), en esta tabla se recoge la información del informe específico sobre océanos (SROCC) por ser el más completo en cuanto a variables del medio marino se refiere. Aunque estas tendencias son globales, en ausencia de información regional o local, pueden ser útiles para realizar un análisis de sensibilidad inicial.

Tabla 15.

Resumen de variables climáticas marinas relevantes para este estudio, los impactos derivados de sus cambios, cambios observados y proyecciones globales. (Fuente: SROCC 2019)

VARIABLE CLIMÁTICA	IMPACTO FÍSICO/QUÍMICO	TENDENCIA GLOBAL OBSERVADA	PROYECCIONES GLOBALES
Nivel medio del mar global (NMMG)		Datos de mareógrafos: muy probable incremento de 1.5 (1.1–1.9) mm/año en el periodo (1902–2010) y un aumento total del NMMG de 0.16 (0.12–0.21) m	RCP2.6: (2046–2065): 0.24 (0.17–0.32) m (2081–2100): 0.39 (0.26–0.53) m (2100): 0.43 (0.29–0.59) m Tasa de aumento del NMMG : 4 (2–6) mm/año en 2100
	- sumergencia (inundación permanente)	Aceleración con un alto nivel de confianza de (–0.002–0.019) mm/año ² en el periodo (1902–2010)	RCP4.5: (2046–2065): 0.26 (0.19–0.34) m (2081–2100): 0.49 (0.34–0.64) m (2100): 0.55 (0.39–0.72) m Tasa de aumento del NMMG : 7 (4–9) mm/año en 2100
	- daños por inundación,	Datos de altímetro satelital:	
	- erosión	Aumento del NMMG de 3.0 mm/año (2.4–3.6) en el periodo (1993–2015)	
	- intrusión salina	Aceleración: con un alto nivel de confianza de 0.084 (0.059–0.090) mm/año ² en el periodo (1993–2015)	RCP8.5: (2046–2065): 0.32 (0.23–0.40) m (2081–2100): 0.71 (0.51–0.92) m (2100): 0.84 (0.61–1.10) m Tasa de aumento del NMMG : 15 (10–20) mm/año en 2100
	- elevación del nivel freático		
Nivel del mar regional	- obstrucción del drenaje	Variabilidad regional sustancial en las escalas década y multidecadal por cambios en el régimen de vientos, en los flujos de agua y calor atmosférico-oceánico y por la alteración de la circulación oceánica	Incremento del nivel del mar relativo regional, con respecto al AR5, prácticamente en todo el mundo para el RCP8.5, debido al incremento en la contribución de la Antártida
	- pérdida y cambios en ecosistemas		
Nivel del mar extremo		Es muy probable que los periodos de retorno de la inundación en las zonas más bajas de la costa se hayan reducido a lo largo del siglo 20	Alto nivel de confianza en que los eventos de nivel del mar extremo que en la actualidad son poco frecuentes (p.e. 100 años de periodo de retorno), pasen a ser mucho más frecuentes o incluso anuales para el RCP8.5 a finales de siglo. Esto podría suceder antes e incluso para el RCP2.6 en áreas geográficas en la variabilidad histórica del nivel del mar, debido a la marea astronómica y meteorológica, sea pequeña comparada con las proyecciones de ANM
Ciclones tropicales y extratropicales	- Cambios en las mareas meteorológicas y oleaje de temporal - inundación costera - erosión costera - intrusión salina - elevación del nivel freático - obstrucción del drenaje - pérdida y cambios en ecosistemas costeros - daños y pérdida de operatividad de infraestructuras costeras - fallo de obras de protección costera	Reducción en la frecuencia de CT severos en el Este de Australia desde finales del siglo 19; incremento en la frecuencia de eventos de marea meteorológica moderadamente grandes en EEUU desde 1923; incremento reciente de eventos extremadamente severos en el mar Arábigo y de CT intensos impactando la Asia oriental y suroriental; incremento en las últimas décadas en la proporción anual global de huracanes que han alcanzado las categorías 4 y 5	Alto nivel de confianza en que el aumento del nivel medio del mar conducirá a mayores mareas meteorológicas cuando se produzcan CT asumiendo que el resto de factores relevantes permanezcan invariables. Confianza de nivel medio en que la proporción de CT que alcanzarán categorías 4 y 5 se incrementarán; en que la intensidad media de los CT se incrementará (aproximadamente entre 1-10%, asumiendo un incremento de la temperatura media global de 2°C), y en que las tasas medias de precipitación asociada a los CT (para un evento dado) se incrementará, al menos, en un 7% por cada 0C de incremento en la temperatura superficial del mar. Bajo nivel de confianza en que la frecuencia de los CT vaya a cambiar a nivel global, aunque la mayor parte de los estudios proyectan una reducción de la misma. Para los Ciclones Extratropicales: confianza baja en los cambios futuros en el bloqueo y las trayectorias de las tormentas en

VARIABLE CLIMÁTICA	IMPACTO FÍSICO/QUÍMICO	TENDENCIA GLOBAL OBSERVADA	PROYECCIONES GLOBALES
			el hemisferio norte. Las proyecciones de las trayectorias de las tormentas en el hemisferio sur indican una contracción observada hacia el polo y un continuo fortalecimiento y contracción hacia el sur de las trayectorias de las tormentas en el futuro (confianza media).
Oleaje	<ul style="list-style-type: none"> - erosión costera - rebase en infraestructuras e inundación - pérdida de operatividad en los puertos - daños sobre ecosistemas costeros 	Pequeños incrementos en la altura de ola significativa a escala global con mayores incrementos (5%) en la altura de ola extremal, especialmente en el Océano Sur (<i>confianza de nivel medio</i>). La energía asociada al oleaje se ha incrementado en las últimas 6 décadas con marcadas diferencias geográficas y correlaciones de largo plazo con el aumento de la temperatura de la superficie del mar (<i>baja confianza</i>)	Confianza alta en las proyecciones de aumento de la altura de ola significativa media sobre el Océano Austral, el Pacífico oriental tropical y el Mar Báltico y de disminución de la altura de ola significativa sobre el Atlántico Norte y el Mar Mediterráneo. Confianza baja en las proyecciones de altura de ola significativa sobre el Pacífico norte oriental y los océanos Índico y Atlántico meridionales. Baja confianza en las proyecciones de altura de ola significativa extrema en todas partes, excepto en el Océano Antártico (aumento) y el Atlántico Norte (disminución) (alta confianza). Conocimientos limitados sobre el periodo y la dirección previstos de las olas.
Temperatura superficial del mar (SST)	<ul style="list-style-type: none"> - cambios en la estratificación y circulación oceánica - incremento del blanqueo y mortalidad de los corales - migración de especie hacia los polos 	El océano se ha calentado sin cesar, continuando la clara tendencia de calentamiento oceánico multidecenal anteriormente documentadas.	Para cualquier escenario se proyecta que el calentamiento continuará en las capas superficiales.
Olas de calor marinas	<ul style="list-style-type: none"> - incremento en los blooms de algas - pérdida de capacidad de refrigeración para instalaciones en la costa 	El número se ha duplicado desde 1980	Muy probable que se produzca un incremento en la frecuencia, duración, extensión espacial e intensidad de las mismas, incluso con bajos niveles de calentamiento
Aportaciones de agua dulce	<ul style="list-style-type: none"> - alteraciones en el riesgo de inundación de zonas costeras bajas; - alteraciones en la calidad y salinidad del agua; - alteraciones en la circulación y provisión de nutrientes 	Confianza media en un descenso neto en las aportaciones anuales de agua dulce	Confianza media en un incremento general en grandes latitudes y en los trópicos húmedos y de un descenso en otras regiones tropicales
Acidez del océano	<ul style="list-style-type: none"> - reducción del pH del agua o de la concentración de ion carbonato (acidificación del océano) - daños sobre ecosistemas (corales, plankton) - daños sobre obras de concreto 	Virtualmente cierto que el pH de las aguas superficiales oceánicas está disminuyendo en un intervalo muy probable de 0,017 a 0,027 unidades de pH por década, desde 1980, en todos los lugares donde existen observaciones de series temporales individuales.	Se cree que el océano experimentará descensos de pH de entre 0,1 (RCP2.6) y 0,3 (RCP8.5) unidades de pH de aquí a 2100, con variabilidad regional y local, exacerbada en las regiones polares.

Paso 5

Análisis del riesgo percibido

El Paso 5, puede realizarse en paralelo con alguno de los pasos anteriores y tiene como objeto evaluar, de manera cualitativa, el riesgo percibido y el riesgo tolerable de los agentes involucrados.

Su implementación suele realizarse a través de encuestas o talleres que, sobre la base de información histórica o de procesos mínimamente guiados, permiten recoger la opinión de los diferentes agentes.



Este análisis cumple con varios objetivos fundamentales. Por un lado, inicia los procesos participativos, que son esenciales para el co-diseño de las medidas de adaptación y, por otro, proporciona una evaluación preliminar cualitativa del riesgo que perciben los agentes involucrados y los receptores últimos del análisis.

Por tanto, ayuda a identificar impactos, consecuencias y posibles forzamientos del riesgo, tanto de origen natural, como antrópico, aunque en muchas ocasiones la causalidad no sea correctamente establecida por el agente. Asimismo, permite indirectamente tener un conocimiento de cuál es el nivel de riesgo admisible por parte de los diferentes agentes, lo que será importante de cara a establecer objetivos de adaptación concretos.

El segundo objetivo es sentar las bases fundamentales para elaborar posteriormente un análisis de riesgo cuantitativo con mayor nivel de detalle y más fiable, pues el análisis de riesgo percibido proporciona una primera aproximación e información para la calibración de los modelos y resultados.

Por tanto, es necesario fijar una serie de objetivos secundarios, entre los que se encuentran:

- ✓ Identificar las zonas con un mayor nivel de riesgo del sistema sometido a análisis.
- ✓ Comenzar el proceso de participación necesario para desarrollar en la Fase 3 el plan de adaptación.
- ✓ Generar una base de datos históricos vinculados a eventos meteorológicos extremos.
- ✓ Valorar, de manera cualitativa, el riesgo de origen climático percibido por los agentes más importantes ligados al ámbito de trabajo.
- ✓ Evaluar la aversión o tolerancia al riesgo de los agentes.
- ✓ Plantear objetivos iniciales de adaptación, así como las posibles medidas de adaptación que se consideran más aceptables y técnicamente viables.

Evidentemente, este proceso debe ser liderado buscando un balance equilibrado entre los diferentes agentes y, considerando que el nivel de conocimiento sobre la problemática de los riesgos derivados del cambio climático en la costa de los involucrados no es necesariamente el mismo. Así, por ejemplo, pueden incluirse en el proceso: agentes con capacidad de toma de decisiones en gestión costera o de riesgos, desde el ámbito municipal al nacional; comunidades vecinales; representantes de universidades y centros de investigación, gremios de pescadores, representantes del sector empresarial, ONGs, etc.

Sus resultados, pueden utilizarse para alimentar el análisis de riesgos basado en criterio experto de esta misma Fase o cualquiera de las fases posteriores.

Figura 13.

Anuncio para la realización de un taller sobre riesgo percibido en la ejecución del Plan de Adaptación costera del área Metropolitana de Lima y algunas de las preguntas recogidas en el análisis del riesgo percibido.


PROYECTO CIUDADES SOSTENIBLES
Construyamos nuestro futuro

LO INVITAMOS CORDIALMENTE AL TALLER DE ANÁLISIS DEL RIESGO PERCIBIDO POR EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DE AML CORRESPONDIENTE AL PROYECTO LIDERADO POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE:
“Plan de adaptación costera para el área Metropolitana de Lima (AML)”

 <p>Fecha del evento: Jueves 7 de abril de 2022, hora 09:00am</p>	 <p>Agenda del día:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saludo de Bienvenida (MINAM). • Presentación del proyecto y consorcio IHCantabria- LANDLAB_INCOSA. • Metodología para la evaluación del Riesgo Costero. • Encuesta evaluación Riesgo Percibido.
 <p>Lugar: La reunión se realizará vía Googlemeet en el siguiente enlace: https://meet.google.com/AXWVHABE-UBA</p>	





Por su trascendencia para el resto del trabajo a realizar, el análisis del riesgo percibido suele recogerse en un documento específico. Las conclusiones más importantes se utilizan para sustentar los análisis del riesgo de Nivel 2 o Nivel 3 y el documento suele agregarse como un Anexo a los anteriores.

Paso 6

Evaluación cualitativa del riesgo basado en criterio experto

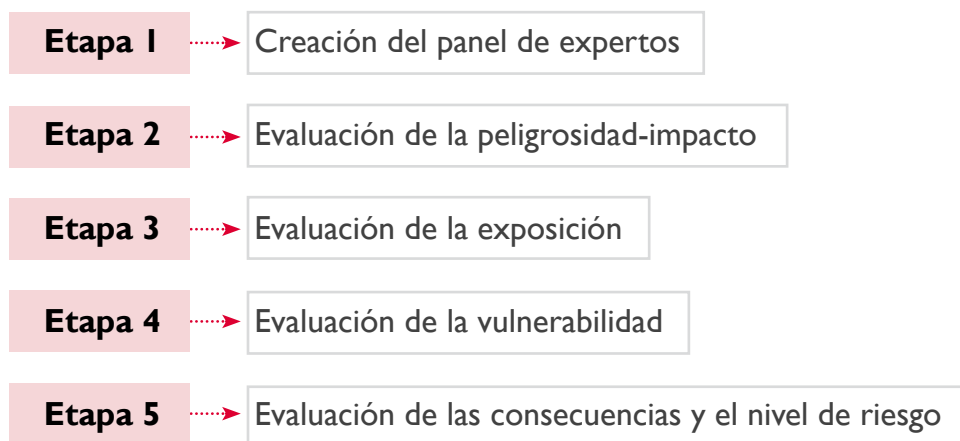
El Paso 6 supone dar un pequeño paso con respecto al nivel de análisis del riesgo percibido con el objetivo de reducir en algún grado la incertidumbre y subjetividad propia de ese nivel. Al recurrir a un panel de expertos para que valoren el nivel del riesgo se sustituye a la población general, las partes interesadas o los agentes implicados en el nivel de riesgo percibido, como fuente de evaluación del nivel de riesgo, y se recurre a sujetos con un reconocido y suficiente conocimiento y experiencia en los fenómenos y riesgos costeros.

Se trata de eliminar la subjetividad que puede introducirse en el paso anterior en la valoración del nivel de riesgo por una valoración más objetiva, proporcionada por expertos, que basan sus opiniones tanto en su experiencia y reconocido prestigio, como en un conjunto de datos que deben ayudarles en sus valoraciones.

No se trata de obviar que las valoraciones de los miembros del grupo de expertos consultados pueden diferir, pues este nivel también introduce una cierta subjetividad en el análisis, pero la experiencia demuestra que son mucho más uniformes que los resultados obtenidos de un análisis del riesgo percibido.

El trabajo del panel consiste en valorar cada una de las componentes del riesgo (peligrosidad e impacto, exposición, vulnerabilidad) de tal forma que se pueda obtener una valoración final de las consecuencias y el nivel del riesgo. Esta valoración se puede realizar en una escala que varíe, por ejemplo, de 1 a 5, siendo el valor 1 representativo de una valoración baja de la componente, y el valor 5 de la más elevada.

Este proceso de valoración se puede plantear en las siguientes cinco etapas:



Para cada una de estas etapas existen distintos métodos para la recopilación de las respuestas y valoraciones de los miembros del panel, variando desde las más simples hasta aquellas que implican un alto nivel de sofisticación. Pueden realizarse encuestas de forma individual a cada uno de los expertos, sin que exista ningún tipo de interacción entre ellos. Pueden formarse grupos a los que se pide que se llegue a un consenso a la hora de ofrecer las valoraciones. O puede recurrirse al método Delphi⁵, desarrollado en la década de 1950, y que plantea el uso de un grupo de expertos que no se relacionan de forma física entre sí, de forma que se minimice el efecto de la presión social y otros aspectos del comportamiento humano que puede aparecer en pequeños grupos. No existe una metodología rígida para aplicar este método. Se basa en compartir los resultados de los distintos miembros del panel entre ellos mismos en diferentes rondas,

permitiendo a los expertos afinar sus respuestas y reduciendo la dispersión que puede existir entre sus respuestas.



Para que un análisis de riesgos basado en expertos funcione a la perfección es necesario, por lo tanto, formar un panel de expertos que cubra todas las áreas de riesgo de la zona costera. Es aconsejable contar con expertos capaces de evaluar los distintos componentes del riesgo, es decir, la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Por lo tanto, es necesario combinar expertos de distintas disciplinas, como oceanografía, climatología, ingeniería, sociología, economía y medio ambiente.

Tabla 16.

Ejemplo de panel de expertos conformado para el análisis del riesgo en el Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima

ESPECIALISTA	PERFIL
Clima marítimo Hidrología	Experiencia en el desarrollo y análisis de dinámicas marinas y escenarios de cambio climático Experiencia en el campo de la hidrometeorología, máximas avenidas, disponibilidad hídrica y modelado de inundación.
Evaluación de impactos costeros	Experiencia en el modelado, análisis y evaluación de los impactos por eventos extremos en la zona costera.
Tsunamis	Experiencia en el modelado, análisis y evaluación de los efectos causados por tsunamis en la zona costera.
Ingeniería costera	Experiencia en el estudio del comportamiento y evolución de la costa, incluyendo la gestión y evaluación de riesgos naturales y antrópicos.
Exposición y vulnerabilidad	Experiencia en el desarrollo y análisis de estudios socioeconómicos sobre la población, elementos construidos e infraestructuras.
Economía	Experiencia en el estudio y análisis de los efectos causados por impactos costeros sobre el ámbito socioeconómico y el tejido productivo.
Ecosistemas	Experiencia en la caracterización de ecosistemas y estudio de las consecuencias sobre los mismos originadas por eventos extremos costeros.
Riesgo y adaptación al cambio climático	Experiencia en la elaboración de análisis de riesgos por efecto del cambio climático, así como en el desarrollo de medidas de adaptación.
Urbanismo y ordenación del territorio	Experiencia en la gestión de zonas urbanas y ordenación del territorio, en especial en las zonas costeras.

Por otra parte, es esencial proporcionar a estos expertos un conjunto de datos que les permita evaluar correctamente el nivel de riesgo. En este nivel de análisis es necesario, por tanto, disponer de fuentes de información fiables en nuestra zona de estudio. Entre esta información potencialmente útil se incluye un registro de eventos históricos, sus consecuencias, estado de la costa y sus características

físicas y socioeconómicas, etc. En sentido general, toda la información que pueda ayudar a caracterizar y estudiar las distintas componentes que integran el riesgo. Suele ser útil para la labor del panel de expertos contar con los resultados obtenidos de un análisis del riesgo percibido como punto de partida preliminar.

Con estos elementos, corresponde al panel de expertos evaluar el nivel de riesgo de la zona costera objeto de análisis. Aunque los paneles suelen trabajar de forma bastante autónoma, conviene formular de antemano los objetivos que deben alcanzarse y definir claramente los resultados esperados y las respuestas que debe aportar el panel.

Paso 7

Evaluación de la capacidad adaptativa

Capacidad adaptativa:

La capacidad de adaptación es la capacidad de los sistemas, instituciones, humanos y otros organismos para adaptarse ante los posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias

Una evaluación de la capacidad de adaptativa de los sistemas y subsistemas considerados permitirá hacer una evaluación más realista del riesgo al que se enfrentan, así como de las necesidades de adaptación para mantenerse por debajo de los niveles de riesgo tolerables ante horizontes y escenarios diversos. Su evaluación es necesaria independientemente del nivel de análisis de riesgo realizado y debe hacerse para todos y cada uno de los subsistemas que forman parte del ámbito de aplicación del análisis del riesgo.

En este aspecto será necesario tener en cuenta las diferencias importantes en la capacidad adaptativa entre sistemas naturales y socioeconómicos, tratando de identificar aquellas características o indicadores que permitan hacer una evaluación adecuada de las mismas. En la literatura se suele referir esta aproximación como capacidad adaptativa social y capacidad adaptativa ecológica, aunque también se habla de la capacidad adaptativa socio-ecológica como aquella en las que se analizan también las interacciones entre ambos ámbitos.

El análisis de la capacidad de adaptativa de un sistema o conjunto de subsistemas puede desarrollarse en paralelo al análisis de riesgo o antes de fijar los objetivos de adaptación y analizar las diferentes opciones. Es necesario considerar que dentro de un mismo sistema la capacidad adaptativa de los diferentes subsistemas puede ser muy diferente. Por ejemplo, en un mismo tramo de costa, la capacidad de adaptación de un puerto comercial suele ser mayor que el de las infraestructuras de las comunidades pesqueras. También se puede dar el caso de que, en un mismo tramo de la costa, una parte de una larga playa rectilínea que incluya un hábitat completo incluyendo un sistema dunar y una marisma, tenga una mayor capacidad de adaptación frente al aumento del nivel medio del mar que otro tramo de esa misma playa circundado por una ronda costera urbana.

Aquí es también necesario incidir en que, en sentido estricto, la capacidad adaptativa se puede incluirse como una de las componentes de la vulnerabilidad, Tabla 3 y que, por tanto, pudiera considerarse a la hora de formular la vulnerabilidad. También se puede considerar como un elemento reductor del riesgo, aplicándolo una vez calculado.



En términos generales, una mayor capacidad adaptativa va a suponer una reducción del riesgo y una reducción en los objetivos adaptación llegando a darse el caso de que, en algunas circunstancias, los niveles de riesgo identificados no requieran la implementación de medidas de adaptación específicas. No obstante, lo anterior, deberá tenerse en cuenta que la capacidad adaptativa de un sistema o subsistema puede ser la necesaria para no superar ciertos umbrales de riesgo tolerable para un escenario de concentración de emisiones u horizonte temporal determinado, pero no para otras combinaciones.

Otro elemento que debe tenerse en cuenta que hay dos factores que condicionan parcialmente el análisis de la capacidad es adaptativa. Por un lado, la escala espacial del sistema o subsistema en la que se está analizando la capacidad adaptativa y la segunda la escala temporal. Comenzando por la segunda, la capacidad adaptativa se evalúa para un determinado periodo de tiempo. Usualmente el corto plazo considerando que los análisis de riesgos suelen repetirse alrededor de cada 5 a 7 años. En este caso, la capacidad de adaptación se convierte prácticamente en lo que se conoce como capacidad de afrontamiento. En el análisis de grandes escalas espaciales, la capacidad adaptativa se suele caracterizar mediante indicadores de larga escala lo que hace que, generalmente, no incorpore aspectos de la capacidad adaptativa local, el conocimiento tradicional o incluso el comportamiento individual en el análisis. Esto último es lo que correspondería hacer para dominios espaciales más pequeños, pero, evidentemente, esto requiere un mayor esfuerzo.

Finalmente, en cuanto a la metodología se refiere, la capacidad adaptativa puede evaluarse con métodos diversos que suelen combinar: encuestas, entrevistas con expertos, talleres participativos combinado con el análisis de la literatura o de las políticas públicas. Independientemente del método seguido, se suelen definir indicadores específicos para facilitar el proceso de análisis.

A continuación, e independientemente del plazo temporal o la escala espacial, se desarrollan algunos aspectos específicos de la capacidad adaptativa.

Para sistemas y subsistemas socioeconómicos y naturales la capacidad adaptativa puede estructurarse en:

- ✓ Capacidad organizativa
- ✓ Capacidad tecnológica
- ✓ Capacidad financiera
- ✓ Capacidad de los ecosistemas

Capacidad organizativa

La capacidad organizativa hace referencia a la medida en que la entidad responsable de la gestión del sistema puede incorporar la adaptación al cambio climático en sus procesos de toma de decisiones, identificar y dar respuestas significativas a los riesgos existentes, y vigilar, actualizar y mejorar las respuestas requeridas con el tiempo.

La capacidad organizativa es el resultado de una serie de factores como son: los mecanismos de gobernanza implementados, la concienciación y el compromiso efectivo de alto nivel, la disponibilidad de recursos humanos para abordar la adaptación al cambio climático, la existencia de un marco legal específico para la adaptación o la adopción por parte de los agentes/partes interesadas de los objetivos de adaptación.

En general, una fragmentación multinivel de las competencias en la gestión de la costa, la falta de incorporación de las políticas de cambio climático en la misma o la falta liderazgo supone una reducción importante de la capacidad adaptativa. La implementación de las políticas de cambio climático de manera transversal en cualquier sector y nivel de gobernanza, conjuntamente con mecanismos

de coordinación interinstitucional, favorecen la generación de capacidad de adaptación en la costa a través de la eliminación de barreras administrativas, legales o de procedimiento.

Asimismo, que la organización responsable de la gestión de la costa o de cualquier subsistema ubicado en la misma cuenta con conocimiento específico y recursos humanos capacitados en la materia, favorece la capacidad adaptativa del sistema.

Finalmente, se considera un importante activo de la capacidad adaptativa la existencia de compromisos explícitos y sostenidos de alto nivel en la cadena de toma de decisiones asociada a aquellos factores que inciden sobre la gestión de la costa, así como la concienciación de los agentes implicados en cuanto a los riesgos que el cambio climático puede producir en sus intereses. Estos aspectos favorecen y facilitan una planificación e implementación más efectiva de la adaptación y sientan las bases para poder articular mecanismos de seguimiento que permitan incorporar o modificar las medidas necesarias a medida que se modifican los objetivos de la adaptación.

Capacidad Tecnológica

Aunque la capacidad tecnológica pudiera incluirse dentro de la capacidad organizativa, debido a la casuística de la adaptación en zonas costeras, es recomendable evaluarla como un elemento independiente. En general, la capacidad tecnológica hace referencia a si las tecnologías presentes o por desarrollar son suficientes para abordar las necesidades de adaptación. Es necesario considerar que pueden existir tecnologías en el presente capaces de abordar las necesidades de adaptación futuras pero que éstas no estén disponibles, por diferentes causas, no necesariamente financieras, para las entidades responsables de implementar la adaptación.

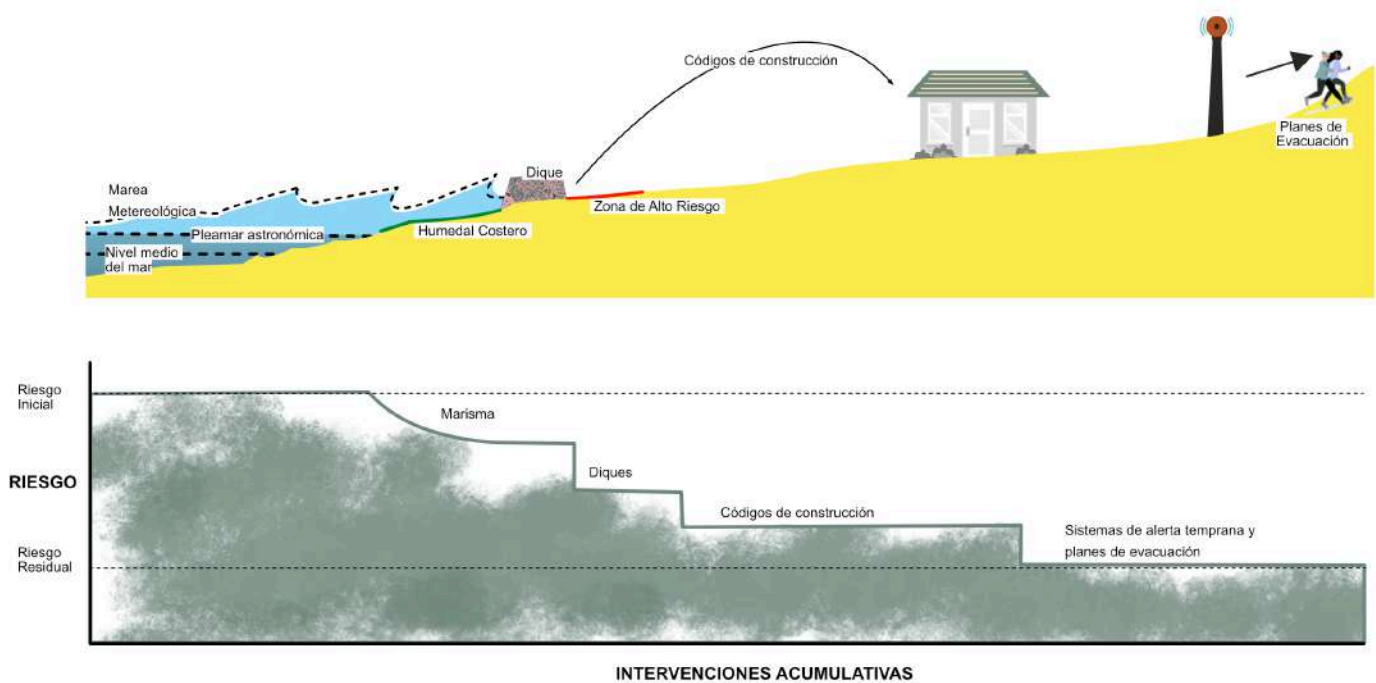
Entre los factores a considerar a la hora de analizar la capacidad tecnológica están: la resiliencia tecnológica del sistema, las dependencias tecnológicas externas y las opciones de adaptación disponibles.

Empezando por la última, es necesario analizar qué opciones técnicas están o estarán disponibles y si son o no viables para abordar los objetivos de adaptación. Aunque en la Fase 3 se recogen un conjunto de medidas de adaptación, no todas ellas son viables técnicamente en algunos países o zonas, ya sea en su fase de implementación o mantenimiento, por causas diversas. Por ejemplo, hay algunas soluciones estructurales para la protección de zonas altamente vulnerables que no son aplicables en cualquier tramo de costa por factores de cimentación, tipo de materiales o requerimientos constructivos.

La dependencia tecnológica externa hace referencia a las dependencias entre opciones de adaptación que pueden no ser válidas por la dependencia de una de ellas del cambio climático. Por ejemplo, soluciones híbridas, que reducen el riesgo escalonadamente por la combinación de la restauración de una marisma que conduce a la reducción de la cota de una obra de protección con sistema de alerta temprana puede dejar de ser funcional ante un escenario climático en el que la marisma deje de prestar su servicio de atenuación del oleaje o de las mareas meteorológicas. Para elementos ya construidos es especialmente importante evaluar su resiliencia tecnológica para mantener su funcionalidad o integridad estructural durante la vida útil de la misma y especialmente durante el horizonte de planificación de la adaptación. Así, por ejemplo, cualquier muro de defensa o espigón ha sido construido con unas condiciones climáticas que no son las futuras. Además, durante su vida útil ha sido sometido a diferentes eventos de solicitaciones extremas que pueden haber reducido parte de su funcionalidad o integridad estructural. Su resiliencia estructural dependerá de factores tales como el número e intensidad de eventos extremos, especialmente aquellos cercanos a los criterios de diseño, daños recibidos y la estrategia de mantenimiento y reparación. En principio, la resiliencia se reduce con la vida útil y en ausencia de mantenimiento o reparaciones.

Figura 14.

Ejemplo de dependencia tecnológica para un a solución híbrida (Spalding, 2014).



Capacidad financiera

Este factor hace referencia a la capacidad de captar y movilizar los recursos financieros necesarios para asegurar que las acciones de adaptación necesarias puedan ser identificadas, implementadas y actualizadas a medida que evoluciona el cambio climático. En este ámbito es necesario analizar si la entidad responsable de la adaptación tiene capacidad de evaluar los costes de la inacción o los beneficios de la adaptación vs sus costes de implementación y mantenimiento. También la capacidad para captar financiación específica para la adaptación en sus fases de planificación, implementación y seguimiento.

Capacidad adaptativa de los ecosistemas

En sistemas naturales costeros es especialmente importante hacer una evaluación de su capacidad adaptativa.

La capacidad de los ecosistemas se refiere a la habilidad de los ecosistemas naturales y gestionados para adaptarse a los impactos del cambio climático. Es importante destacar que la intervención del hombre puede contribuir a reforzar o reducir la capacidad adaptativa de los ecosistemas frente al cambio climático. Como resultado puede producirse el mantenimiento/reforzamiento o la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales entre los que se encuentra la reducción de riesgos o la mitigación de emisiones. Ejemplos claros en la costa son los arrecifes de coral, los manglares, las praderas de fanerógamas o los humedales que nos proveen de importantes servicios ecosistémicos. La capacidad adaptativa de estos sistemas ya sea natural o gestionada debe evaluarse por la incidencia que su rol puede tener en ausencia de medidas de adaptación o generando un efecto sinérgico con las mismas.

La capacidad de adaptación de los ecosistemas depende de varios factores. Entre ellos se encuentran:

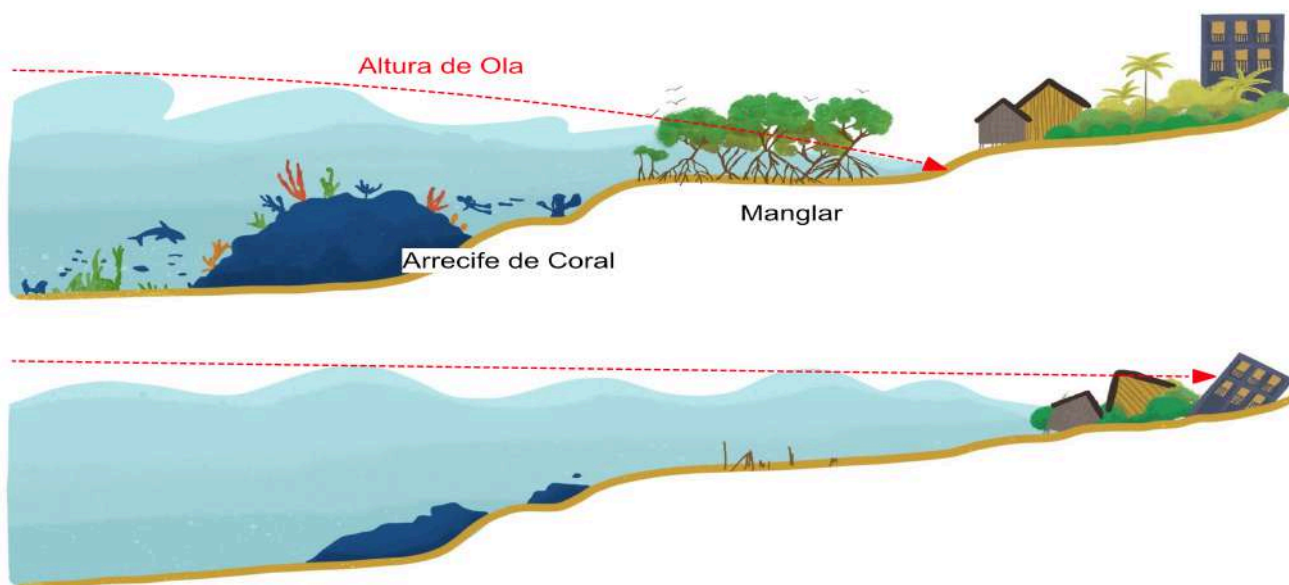
- **Las características biológicas:** la capacidad de los organismos para responder al cambio climático depende de la aclimatación o comportamiento, así como de la capacidad de los organismos para migrar a entornos más adecuados a las nuevas condiciones climáticas. La Tabla 13 incluye una detallada relación entre factores de cambio en el clima y la respuesta de sistemas marinos.
- **La resiliencia ecológica:** capacidad de un ecosistema para mantener funciones y procesos clave frente al cambio climático.
- **La gestión de los ecosistemas:** es posible favorecer la capacidad de adaptación de los ecosistemas mediante una serie de intervenciones planificadas a tal efecto.

Es necesario puntualizar dos aspectos adicionales. La capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático está limitada, existiendo unos umbrales o puntos de inflexión en los que un ecosistema pasa de un estado a otro. Estos cambios pueden ser irreversibles o difíciles y costosos de revertir. Como ejemplo se puede citar los eventos de blanqueamiento del coral con recuperación frente a aquellos que conducen a la mortalidad del coral. La recuperación o no está supeditada a una combinación del incremento de la temperatura del agua, la duración del evento y el estado de salud del coral. También la adaptación de un manglar frente a la subida del nivel medio del mar está supeditada a su capacidad de migración hacia el interior y a la velocidad a la que se produce el aumento del nivel medio.

Otro aspecto a considerar es que las acciones antrópicas como la contaminación, la alteración de las aportaciones de sedimento a la costa, el exceso de nutrientes por uso de fertilizantes en la zona costera o los daños directos sobre corales y manglares por efecto de malas prácticas pesqueras o para el uso de acuicultura, conducen a un mal estado de salud de los ecosistemas reduciendo considerablemente su resiliencia.

Figura 15.

Ejemplo de capacidad adaptativa de ecosistemas (Losada et al., 2020)



En las Tablas 17 a 20 se muestra la información de un análisis de capacidad adaptativa realizada en un taller de expertos para el plan de adaptación de La Manga del Mar Menor (CA de Murcia, España). Como puede observarse el análisis de la capacidad adaptativa se hace a escala espacial de todo el sistema y a nivel local. Tanto en uno como en otro caso, se hace para el presente.

Tabla 17.

Escala para la evaluación de la capacidad adaptativa a nivel del sistema. En este caso de la Comunidad Autónoma de Murcia

CAPACIDAD ADAPTATIVA		
VALOR		DESCRIPCIÓN
1	Muy baja	La capacidad es muy baja. No se pueden implementar acciones para adaptar el sistema a los impactos del cambio climático considerados.
2	Baja	La capacidad es baja, pero se pueden implementar acciones para adaptar el sistema a los impactos del cambio climático considerados.
3	Media	El sistema tiene capacidad para afrontar los impactos del cambio climático considerados, pero no se ha tomado ninguna medida o son menores.
4	Alta	El sistema ha puesto en marcha medidas básicas para afrontar los impactos del cambio climático considerados, pero todavía se está lejos de alcanzar reducciones de los niveles de riesgo aceptables.
5	Muy alta	El sistema ha puesto en marcha las medidas necesarias para alcanzar reducciones de los niveles de riesgo no aceptables.

Tabla 18.

Análisis de la capacidad adaptativa realizada en un taller de expertos para el plan de adaptación de La Manga del Mar Menor (España) a escala de Comunidad Autónoma.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA EN EL PRESENTE	VALORACIÓN PRESENTE	ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Gobernanza	Fragmentación vertical y horizontal de la gobernanza por la diversidad de competencias de las administraciones implicadas en la implementación y seguimiento del plan	3	Creación de un mecanismo específico para abordar el plan que incluya a MITECO, Región de Murcia y ayuntamientos de Cartagena, San Javier y San Pedro del Pinatar
Recursos humanos	Reducido número de especialistas en adaptación al cambio climático de la costa, especialmente en la administración regional y local	2	Mecanismos de coordinación e intercambio de conocimiento y buenas prácticas entre administraciones. Fortalecimiento institucional mediante formación específica y actividades de concienciación interna.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA EN EL PRESENTE	VALORACIÓN PRESENTE	ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Tecnología	Dependencia externa	4	Incremento de las capacidades tecnológicas a nivel del Gobierno de la Región de Murcia y de los ayuntamientos para abordar algunas de las estados del plan de adaptación y seguimiento y replicar el plan de La Manga del Mar Menor en otros tramos de la costa de la Región de Murcia
Financiación	Desacuerdos entre las administraciones con competencias en la implementación de las medidas y sus efectos Bajos niveles de priorización para cada una de las administraciones implicadas	3	Acuerdos para elaborar esquemas de co-financiación. Acuerdos para acceder de manera conjunta a fondos europeos disponibles para la adaptación o de manera individual, pero favoreciendo acuerdos para su implementación Desarrollo de nuevos instrumentos financieros específicos para abordar la financiación del plan

Aunque la valoración se ha hecho para diferentes factores, se puede obtener un valor único de la capacidad adaptativa del sistema obteniendo una media ponderada de los diferentes factores para la que los expertos deben acordar los pesos relativos de cada factor.

Para analizar la capacidad adaptativa frente a los efectos del cambio climático en la costa, a nivel local, se va a utilizar un conjunto de indicadores que se estructura en 4 grandes grupos:

- ✓ Diversidad y flexibilidad
- ✓ Acceso a bienes
- ✓ Aprendizaje y conocimientos
- ✓ Gobernanza e instituciones

En la Tabla 19 y con base en criterio experto y el sistema de valoración expuesto en la Tabla 20 se presentan los resultados de dicho análisis.

Tabla 19.

Escala para la evaluación de la capacidad adaptativa a nivel local

CAPACIDAD ADAPTATIVA		
VALOR		DESCRIPCIÓN
1	Muy baja	La capacidad es muy baja. No se pueden implementar acciones para adaptar el sistema a los impactos del cambio climático considerados.
2	Baja	La capacidad es baja, pero se pueden implementar acciones para adaptar el sistema a los impactos del cambio climático considerados.
3	Media	El sistema tiene capacidad para afrontar los impactos del cambio climático considerados, pero no se ha tomada ninguna medida o son menores.
4	Alta	El sistema ha puesto en marcha medidas básicas para afrontar los impactos del cambio climático considerados, pero todavía se está lejos de alcanzar reducciones de los niveles de riesgo aceptables.
5	Muy alta	El sistema ha puesto en marcha las medidas necesarias para alcanzar reducciones de los niveles de riesgo no aceptables.

Tabla 20.

Análisis de la capacidad adaptativa realizada en un taller de expertos para el plan de adaptación de La Manga del Mar Menor (España) a escala local.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA		ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Diversidad y flexibilidad			
Diversidad de medios de vida e ingresos	Alta dependencia del turismo de sol y playa en la zona	2	Aumentar la diversidad en medios de vida e ingresos.
Oportunidades económicas	La pérdida de la calidad de la oferta turística reduce las oportunidades económicas	2	Diversificar las oportunidades económicas o garantizar la sostenibilidad de modelo turístico.
Nivel de dependencia de los recursos naturales	Alta. Los recursos naturales se encuentran en un proceso de deterioro ambiental importante	2	Recuperar y preservar los recursos naturales disponibles.
Movilidad profesional	La movilidad profesional es altamente viable salvo en aquellas profesiones que están asociadas a activos fijos ubicados en la zona	3	Fomentar las condiciones necesarias para promover la movilidad profesional en el caso que el cambio climático genere una reducción en los medios de vida.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Apego al lugar	Gran parte de la población no es originaria de la zona por lo que el apego está fundamentalmente ligado a los servicios de recreación y es, por tanto, bajo	4
Patrones migratorios	Como lugar de recreación, La Manga es un entorno que recibe inmigración, lo que incrementa la exposición y especialmente la vulnerabilidad por tratarse generalmente de una población envejecida	2 Limitar la capacidad de carga del sistema para no favorecer inmigración adicional que genere más presión sobre el sistema de La Manga.
Disposición al cambio	Limitada por la edad media de la población	3
Diversidad y flexibilidad (media) 2,6		
Acceso a bienes		
Bienes materiales del hogar	Fundamentalmente segunda residencia. Bienes materiales de valor medio-bajo	4
Infraestructuras comunitarias	Las infraestructuras no han sido diseñadas considerando los efectos del cambio climático	2 Cualquier nueva infraestructura debería diseñarse considerando el efecto del cambio climático durante su vida útil. Realizar un análisis de infraestructuras y equipamientos existentes para incrementar su resiliencia frente a los efectos del cambio climático.
Nivel educativo	El nivel educativo se valora como elevado en general. Sin embargo, no se oferta en la actualidad una formación en cambio climático en los distintos niveles educativos que ayude a concienciar y educar sobre los riesgos existentes.	4 Incorporar la concienciación sobre el cambio climático en los diferentes niveles educativos.
Situación financiera y acceso a fuentes de crédito	El municipio de San Pedro del Pinatar tiene un nivel de endeudamiento menor del 75% de sus ingresos corrientes, por lo que según la legislación vigente no podría concertar nuevas operaciones de crédito a largo plazo para la financiación de inversiones	4 Los municipios de Cartagena y San Javier tienen un nivel de endeudamiento menor del 75% de sus ingresos corrientes, por lo que según la legislación vigente podrían concertar nuevas operaciones de crédito a largo plazo para la financiación de inversiones.
Capital social y otros apoyos institucionales		4 La población más vulnerable residente, tiene una importante cobertura social y de salud.
Capital natural	Capital natural del entorno en proceso de deterioro	2 Mejorar la salud del capital natural mediante iniciativas de conservación y restauración y medidas para aumentar su resiliencia al cambio climático.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA		ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Equidad, derechos y acceso a recursos		4	En general, equivalentes para la mayor parte de la población residente. Media-alta.
Acceso a bienes (media)		3,4	
Aprendizaje y conocimientos			
Conocimiento de las perturbaciones (por ejemplo, el cambio climático)	Existe un conocimiento limitado sobre las consecuencias del cambio climático en el borde costero de la Manga	3	Las iniciativas de difusión y comunicación asociadas al plan pueden incrementar la capacidad adaptativa.
Percepción del riesgo	En general, la percepción social del riesgo existente por efecto del cambio climático en horizontes de medio-largo plazo es baja.	3	Iniciativas de comunicación y difusión para evaluar la percepción del riesgo sobre una población bien informada.
Espacios y plataformas de aprendizaje	Presencia limitada para los fines últimos del plan	2	Promocionar la creación y mantenimiento de espacios y plataformas de aprendizaje a nivel municipal y regional.
Reconocimiento de la causalidad y la acción humana	Existe un porcentaje importante de la población que no correlaciona los riesgos del cambio climático en la costa con la acción humana.	3	Procesos de información con evidencias científicas.
Capacidad de aprendizaje intergeneracional	Dado que el cambio climático es un problema relativamente reciente y nuevo, no existe la capacidad de aprender de generaciones diferentes.	2	Generar información y difundir la evolución de La Manga del Mar Menor y su relación con los riesgos e impactos derivados de la meteorología y el clima.
Aprendizaje y conocimientos (media)		2,6	
Gobernanza e instituciones			
Niveles de confianza	El nivel de confianza de la ciudadanía es medio	3	El nivel de confianza mejoraría sensiblemente ante la existencia e implementación de un plan específico.
Relaciones de género y raciales	No se identifican efectos significativos.	4	
Niveles de participación y calidad de los procesos de toma de decisiones	Existen procesos regulares de participación asociados a la normativa	4	Mejorar la participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones relacionados con el problema.
Capacidad de planificación	Los municipios involucrados tienen una reducida capacidad de planificación en los ámbitos más específicos de protección de la costa frente al cambio climático	3	Mejorar la integración del cambio climático en los procesos de planificación a todos los niveles de gobernanza y en el sector privado.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE REDUCEN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	ASPECTOS QUE INCREMENTAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA
Presencia de instituciones medioambientales locales	Falta de capacidades en las entidades municipales que gestionan aspectos ambientales para implementar la adaptación en sus políticas de gestión ambiental	4 Existe una alta presencia de ONGs medioambientales que velan por la salud de los ecosistemas del Mar Menor y la franja costera de La Manga.
Calidad de la gobernanza y liderazgo en las políticas y agencias medioambientales	La fragmentación competencial disminuye la capacidad adaptativa en el marco local	3 La capacidad de los gobiernos locales para integrarse en instrumentos de gobernanza que integren los tres niveles requeridos favorece la capacidad adaptativa.
Responsabilidad de los gestores y los órganos de gobierno	La falta de claridad en quién tiene la responsabilidad de abordar los planes de adaptación que integran diversos sectores y competencias reduce la capacidad adaptativa	4 El desarrollo de instrumentos específicos y una clara estructura de responsabilidades incrementa la capacidad adaptativa a la hora de plantear la adaptación.
Procesos activos de gestión de riesgos y gobernanza adaptativa	La falta de integración de los riesgos derivados del cambio climático en las políticas municipales disminuye la capacidad adaptativa	3 Las recientes iniciativas, como la PIMA Adapta Costas, son un primer paso en la gestión del riesgo y deben ser valoradas positivamente.
Gobernanza e instituciones (media)		3,5

De manera análoga al análisis a escala de región, se puede obtener un valor único de la capacidad adaptativa del sistema obteniendo una media ponderada de los diferentes factores para la que los expertos deben acordar los pesos relativos de cada factor.

Paso 8

Análisis y comunicación del riesgo

En este paso se sientan las bases para el proceso de análisis y comunicación del riesgo. Gran parte de los aspectos aquí considerados son de aplicación a cualquiera de los niveles de análisis, es decir, Nivel 1, 2 o 3.

En términos generales, el principal elemento para la comunicación del riesgo será el informe de riesgos que deberá incluir, como mínimo:

- ✓ Establecimiento del contexto en el que se enmarca el análisis.
- ✓ Una descripción de los objetivos y alcance del estudio.
- ✓ Una somera descripción de la metodología empleada.
- ✓ Una descripción de los resultados obtenidos y sus implicaciones para el objetivo propuesto.
- ✓ Una breve descripción de las fuentes de incertidumbre en los resultados.
- ✓ Un conjunto de recomendaciones para análisis posteriores.

No obstante lo anterior, el método más adecuado de comunicación deberá seleccionarse de acuerdo con los receptores principales y secundarios identificados en el Paso 2 de la Fase 1, así como el público en general.

En general, es altamente recomendable que todos los informes de riesgos incluyan un resumen para tomadores de decisiones que suelen ser, habitualmente, los receptores principales del trabajo. Sin menoscabo del rigor técnico, el resumen debe incluir los objetivos, hipótesis y resultados más relevantes utilizando un lenguaje accesible e indicando aquellos aspectos que puedan tener mayor incertidumbre. Las recomendaciones deben de estar vinculadas a evidencias mostradas a lo largo del documento y fácilmente identificables.

A nivel técnico, al margen del documento principal, la realización de eventos de difusión basados en webinarios o actividades presenciales que permitan la retroalimentación técnica son altamente deseables.

Finalmente, es esencial fomentar la difusión entre aquellos actores que hayan tomado parte en cualquiera de los procesos participativos que han dado lugar al análisis, así como al público en general. Especialmente, en este último caso es necesario que la información se comunique con rigor y de manera transparente, para evitar interpretaciones o conclusiones incorrectas que puedan dar lugar a un riesgo percibido mayor o menor que el obtenido a través de la evaluación técnica.



FASE 2B. ANÁLISIS DE RIESGOS - NIVEL 2

INTRODUCCIÓN

A diferencia del análisis de riesgos Nivel 1, el Nivel 2 es un análisis cuantitativo. Es decir, permite obtener una cuantificación del nivel de riesgo en un sistema determinado, a partir de la integración de indicadores representativos de los diferentes elementos que componen el riesgo, es decir, amenaza-peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, pudiendo obtenerse resultados, por ejemplo, en términos de indicadores de consecuencias.

El Nivel 2 debe alimentarse de los resultados del Nivel 1, por lo que puede ser recomendable comenzar por un Paso de Revisión y Ampliación de la Fase 1.

Una vez completado este Paso 0, los Pasos se estructuran de acuerdo con la siguiente secuencia:

- Paso 1: Identificación y selección de indicadores.
- Paso 2: Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar las amenazas-peligrosidad.
- Paso 3: Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar la exposición.
- Paso 4: Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar los impactos.
- Paso 5: Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar la vulnerabilidad.
- Paso 6: Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar los riesgos/consecuencias.
- Paso 7: Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la capacidad adaptativa.

Aquí es necesario incidir, de nuevo, en dos aspectos. El primero, el hecho de que los pasos son secuenciales en su aplicación, pero pueden desarrollarse en paralelo. Es decir, la obtención de los indicadores de exposición puede realizarse en paralelo con los de vulnerabilidad o con los de capacidad adaptativa.

En este sentido, y como ya se ha comentado anteriormente, la capacidad adaptativa se podría vincular a los indicadores de vulnerabilidad, tal y como se establece en la Tabla 3. Sin embargo, también puede aplicarse como un factor reductor de riesgo, aplicándolo una vez calculado.

No obstante, lo anterior, es necesario mencionar que, en algunas circunstancias, es difícil poder definir indicadores que consideren una única componente del riesgo, por lo que, a lo largo de esta Fase podremos ver ejemplos de algunos indicadores que se encuentran en la interfaz entre dos tipos de indicadores.

Tabla 21.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2b: Análisis de Riesgos-Nivel 2

Fase 2b	ANÁLISIS DEL RIESGO	Nivel 2
Paso 1	Identificación y selección de indicadores.	
Paso 2	Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar las amenazas-peligrosidad.	
Paso 3	Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar la exposición.	
Paso 4	Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar los impactos.	
Paso 5	Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar la vulnerabilidad.	
Paso 6	Selección y evaluación de los indicadores para caracterizar los riesgos/ consecuencias.	
Paso 7	Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la capacidad adaptativa.	

Paso 1 **Identificación y selección de indicadores**

Introducción

En general, los indicadores son parámetros que proporcionan información sobre estados o condiciones específicas y su posible evolución. Cuando estos estados o afecciones no son directamente medibles, se utilizan indicadores sustitutivos también conocidos como proxies. En el análisis de riesgo Nivel 2, se hace uso de indicadores cuantitativos con el objetivo de facilitar una evaluación cuantitativa de los efectos del cambio climático sobre el sistema en riesgo. Para ello, es necesario definir indicadores que permitan caracterizar cada una de las componentes del riesgo (amenaza, exposición, impacto, vulnerabilidad y riesgo/consecuencias).

Para evaluar el riesgo se podrán comparar los cambios en los indicadores ante diferentes escenarios de emisiones y horizontes temporales, con respecto a estimaciones presentes o históricas o frente a umbrales críticos establecidos a partir de bases científicas, eventos históricos o recomendaciones.

Selección de indicadores

El proceso de selección de indicadores es, en general un proceso iterativo en el que, a partir de una lista inicial provisional se debe ir siguiendo un proceso de selección que elimine aquellos no relevantes, no es factible su obtención o los datos disponibles no son suficientes o de calidad contrastada. Este proceso puede realizarse por el equipo de trabajo o con apoyo externo a través de especialistas y talleres.

Los indicadores deben ser específicos. Es decir, válidos, relevantes y representativos de la contribución del factor, estado o condición que se desea cuantificar. Además, deben ser fiables y creíbles, y con un significado preciso y debidamente aceptado por las partes interesadas en el análisis de riesgo. Otros factores para considerar en la selección son:

- ✓ Una apropiada cobertura y resolución espacial.
- ✓ Una apropiada cobertura temporal y marco temporal.
- ✓ Su replicabilidad (para la posterior repetición de las evaluaciones de riesgos).
- ✓ La calidad de los datos disponibles para su obtención.
- ✓ Los recursos de tiempo y presupuesto necesarios para su obtención.

Para el análisis de riesgos del cambio climático en la costa, será necesario contar con indicadores para caracterizar las amenazas climáticas (atmosféricas y marinas) o incluso integradas, que pueden obtenerse a partir de datos de observación o modelos en función de los requerimientos. Para la exposición se contará con indicadores que caractericen aspectos biofísicos o socioeconómicos del área en riesgo que serán altamente dependientes de la disponibilidad de bases de datos de estadísticas nacionales o de caracterización de usos del suelo. Podrán estar basadas en datos históricos, entre otras, pero también en modelos, por ejemplo, demográficos o de vegetación potencial si lo que se pretende es caracterizar la exposición en escenarios y horizontes temporales futuros. Asimismo, se deberá

contar con indicadores para caracterizar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y de los riesgos o consecuencias. Finalmente, será necesario contar con indicadores que caractericen adecuadamente la capacidad de adaptación del sistema.

Preparación de una lista inicial de indicadores

A la hora de preparar una lista inicial de indicadores que debe ser sometida al escrutinio de todo el equipo de trabajo y de los expertos externos considerados, es necesario asociar a cada indicador un conjunto de metadatos que facilitarán el análisis de los factores anteriormente descritos y muy especialmente su idoneidad y replicabilidad.

Entre estos metadatos se deben incluir los siguientes aspectos:

- ✓ **Descripción:** una breve descripción del indicador.
- ✓ **Componente de riesgo representado por el indicador:** (amenaza, exposición, impactos, vulnerabilidad, riesgo/consecuencias, capacidad de adaptación).
- ✓ **Razonamiento:** una breve explicación que justifique la selección del indicador.
- ✓ **Cobertura espacial:** la cobertura espacial necesaria para los datos del indicador.
- ✓ **Unidad de medida:** la unidad de medida o resolución espacial requerida.
- ✓ **Cobertura temporal:** la cobertura temporal requerida.
- ✓ **Monitorización:** el período necesario para actualizar los valores de los indicadores.
- ✓ **Tendencia:** una explicación de si una puntuación alta o baja del indicador disminuye o aumenta el riesgo.
- ✓ **Fuente de datos:** las fuentes de datos existentes y potenciales, cuando sea posible.

Con el fin de preparar una lista inicial de indicadores la Guía incluye un Anexo con una lista inicial de indicadores específicos para su aplicación en análisis de riesgo en la costa que puede utilizarse para realizar una primera selección (ver Anexo 6).

Paso 2

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar las amenazas-peligrosidad

Para hacer la selección de los indicadores que mejor caracterizan las amenazas-peligrosidad del sistema bajo estudio, es necesario hacer uso de la información recopilada en la Fase I. Es decir, es necesario construir matrices que identifiquen para cada uno de los sistemas o subsistemas considerados, cuáles con los potenciales impactos del cambio climático y, para cada impacto, cuáles pueden ser los forzamientos o variables de origen climático que lo producen. La Tabla 12 o la Figura 9 son buenos ejemplos de este tipo de análisis. También puede facilitar este ejercicio la evaluación de la información disponible de daños históricos.

Recientemente, el IPCC ha incluido en su informe del Grupo I del AR6, publicado en 2019, un catálogo de lo que ha denominado “Fuerzas impulsoras de los impactos climáticos” (Climate Impact Driver (CID), por sus siglas en inglés). Los CID se definen en términos generales como “condiciones físicas del sistema climático (por ejemplo, medios, fenómenos y extremos) que afectan a un elemento de la sociedad o a los ecosistemas”. Dependiendo de la tolerancia del sistema, las CID y sus cambios pueden ser perjudiciales, beneficiosos, neutros o una mezcla de ambos en los elementos y regiones del sistema en el que interactúan. Los CIDs se clasifican por tipología y categoría y pueden ser representados por un indicador climático específico.

Por ejemplo, dentro de las tipologías “costa” y “océano”, el IPCC identifica las siguientes relaciones que se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22.

Relación entre tipología, categoría e indicador representativo propuesto por el IPCC para las fuerzas impulsoras de los impactos climáticos en la costa (IPCC, 2019).

CID-TIPOLOGÍA	CID-CATEGORÍA	BREVE DESCRIPCIÓN	INDICADOR REPRESENTATIVO
COSTA	Nivel medio del mar relativo	Nivel medio del mar local con respecto a la referencia en tierra	Nivel del mar local producido por una pleamar astronómica (Ciudades)
	Inundación costera	Inundación producida por niveles del mar extremos episódicos producidos por la combinación de nivel medio del mar relativo, marea astronómica, marea meteorológica y set-up del oleaje	Nivel del mar total de 100 años de periodo de retorno (Infraestructuras)
	Erosión costera	Cambio episódico de largo plazo en la línea de costa producido por el aumento del nivel medio del mar, las corrientes costeras, el oleaje y la marea meteorológica	Cambio en la posición relativa de la línea de costa en 2100 con respecto a la posición actual (Infraestructuras)

La utilización de este marco propuesto por el IPCC puede ser también muy útil para identificar cuáles con los indicadores de amenaza-peligrosidad relevantes para la zona de estudio. Obsérvese que la terminología y el tipo de clasificación de los CIDs, no corresponde necesariamente con los indicadores recogidos en el Anexo 6.

Paso 3

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la exposición

La caracterización de la exposición Nivel 2 se realiza a través de indicadores que recogen de forma agregada la información de los distintos elementos expuestos a nivel de unidades espaciales discretas. Estas unidades pueden ser bien unidades administrativas (regiones, entidades locales, o incluso a un nivel inferior), una malla regular espacial, o bien distribuciones creadas ad hoc con un criterio propio.

Como criterio general, una buena caracterización de la exposición debe incluir los siguientes capítulos:

- ✓ Distribución de personas afectadas, pudiendo incluir su caracterización demográfica, y socioeconómica.
- ✓ Distribución de activos en manos de los consumidores, como residenciales, automóviles etc.
- ✓ Distribución de activos productivos empleados en los sectores pertinentes en la economía de la zona.
- ✓ Distribución de capital social y activos comunitarios, como centros educativos, sanitarios y sociales.
- ✓ Distribución de infraestructuras críticas, de comunicaciones, transportes, centros logísticos, centros de suministro energéticos.
- ✓ Distribución de las actividades presentes desarrolladas en los entornos estudiados.
- ✓ Distribución de elementos ambientales, (masas de agua, ecosistemas...).

Cada uno de estos capítulos incluye distintas variables socioeconómicas y ambientales que reflejan la exposición desde distintas perspectivas. Es común proceder a un proceso de normalización de estas variables de forma cuantitativa (escalas de 0 a 10 o similar) o de forma cualitativa (con las etiquetas “baja”, “media”, “alta” o similar). La Tabla 23 incluye un listado de posibles indicadores que pueden ser representativos de cada uno de los capítulos anteriores, así como las variables que se pueden incluir en la normalización. No obstante, el Anexo 6 recoge también un conjunto de indicadores de exposición, con ejemplos concretos.

Tabla 23.

Ejemplo de indicadores de exposición y variables representativas

CAPÍTULO DE EXPOSICIÓN	INDICADOR DE EXPOSICIÓN	VARIABLES
POBLACIÓN	población residente	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas • Renta disponible
	población vulnerable	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas en riesgo de pobreza • Número de personas en edad de riesgo
	población flotante	<ul style="list-style-type: none"> • Número de turistas • Número de turistas alojados en hoteles
ACTIVOS CONSTRUIDOS	construcciones (total)	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie construida • Valor de las edificaciones
	sector residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie construida • Valor de las edificaciones
	sector comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie construida • Valor de las edificaciones • Producción económica (PIB)
	sector industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie construida • Valor de las edificaciones • Producción económica (PIB)
CAPITAL SOCIAL	gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie construida • Personas atendidas
INFRAESTRUCTURAS	infraestructuras (total)	<ul style="list-style-type: none"> • Número de elementos • Superficie ocupada • Personas atendidas
	infraestructuras (sectorial)	<ul style="list-style-type: none"> • Número de elementos • Superficie ocupada • Personas atendidas
MEDIOAMBIENTE	medioambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie • Valor ecosistémico

Cuadro 3.

Ejemplo del uso del producto interior bruto (PIB) como un indicador de actividad económica. El valor del PIB se distribuye en celdas homogéneas de 30 km² a lo largo de toda la costa de América Latina y Caribe.

El producto interior bruto (PIB) como un indicador de exposición de actividad económica

En la Figura se presentan los indicadores de PIB/celda (30 Km² en el ecuador) empleados en el proyecto C3A (CEPAL, 2012). El valor correspondiente se emplea como indicador de exposición en las celdas de trabajo del proyecto.

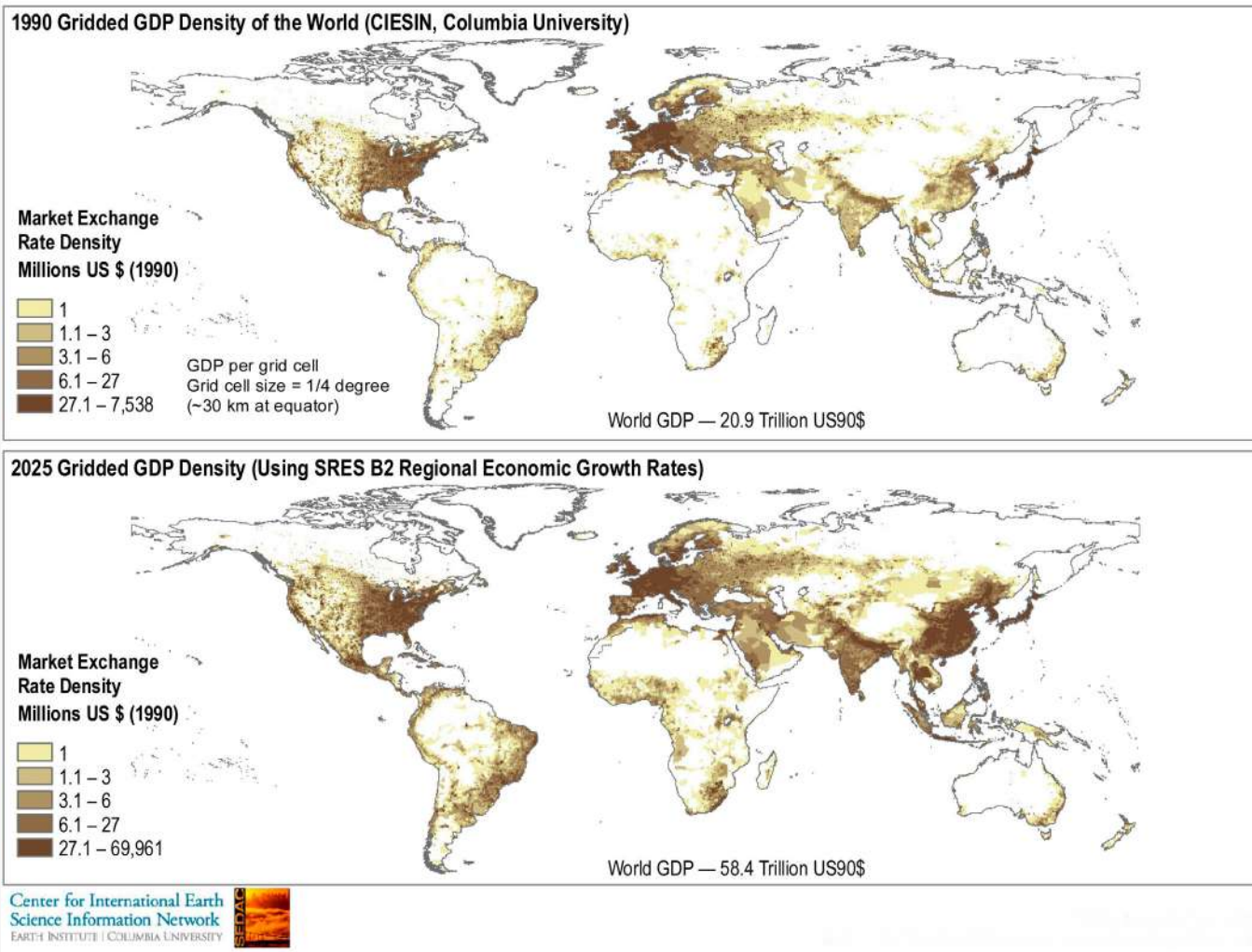


FIGURA 2.6
UNIDADES DE ESTUDIO PARA EL CÁLCULO DEL RIESGO EN LA COSTA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Y ESQUEMA DE DIMENSIONES Y LÍNEA DE COSTA EN UNA DE ELLAS (DERECHA)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Nota: Se muestra el detalle de algunas unidades de estudio con la presencia de playas y una desembocadura en la costa de Brasil.

Como puede comprobarse el valor de PIB/celda empleado no debe interpretarse como una estimación directa del valor expuesto, sino más bien como un indicador que clasifica a las celdas de trabajo según el nivel de actividad económica de la zona en que se encuentran ubicadas. Su valor permite identificar el nivel de riesgo de la celda con un indicador compuesto. (Fuente: CEPAL, 2012)

Para desarrollar este trabajo, es fundamental recurrir a fuentes a nivel nacional y regional que son las que deben proporcionar los datos disponibles sobre población, renta, valoración catastral, producción económica, etc., así como su distribución espacial en unidades con mayor o menor resolución.

Cuando estas fuentes escasean o no son lo suficientemente completas, se puede recurrir al empleo de fuentes globales. Estas fuentes de información parten del auge y desarrollo actual de las técnicas de caracterización espacial mediante imágenes satélite o fotos aéreas, así como fruto de los avances estadísticos. Algunas de las más reseñables se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24.

Ejemplos de bases de datos para la caracterización de algunos elementos de la exposición

VARIABLE		RESOLUCIÓN	COMENTARIOS
POBLACIÓN		1 km-100 m	Incluye caracterización complementaria
		250 m	
NIVEL DE RENTA		1 km	Solo algunos países
ACTIVOS RESIDENCIALES		250 m	No incluye valores monetarios
INFRAESTRUCTURAS			Carreteras
			Ferrocarriles
			Aeropuertos
			Plantas energía
			Embalses

Paso 4

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar los impactos

La caracterización de los impactos Nivel 2 se lleva a cabo a través de índices compuestos por uno o más indicadores. Los indicadores contienen información sobre la peligrosidad, por ejemplo, en forma de variables climáticas, pero también pueden incorporar factores de exposición y vulnerabilidad.

Inundación

La inundación costera depende fundamentalmente de la marea meteorológica, la marea astronómica, el oleaje en forma de run-up o set-up y el aumento del nivel medio del mar. Estas variables se combinan en un indicador del nivel del mar total que se conoce como cota de inundación. La cota de inundación puede utilizarse directamente como indicador de inundación costera dado que representa el nivel que alcanza el mar cuando se produce un evento susceptible de producir la inundación de la costa. En este indicador la mayor complejidad viene dada por la contribución del oleaje. Cuando éste se propaga hacia la costa genera un aumento del nivel del mar del que se pueden distinguir dos componentes: la sobreelevación del nivel debida a la transferencia de flujo de momento del oleaje a la columna de agua durante el proceso de rotura de las olas (sobreelevación del oleaje por rotura y el recorrido vertical de la salpicadura de las olas al romper (ascenso-descenso debido a la onda corta y a la onda infragravitatoria. Estas componentes pueden aproximarse con formulaciones semiempíricas o calcularse de forma más precisa aplicando modelos numéricos que resuelven la hidrodinámica de la zona de rompientes. Estos modelos, no obstante, tienen un elevado coste computacional, lo que limita la escala geográfica a la que pueden aplicarse.

La Tabla 25 muestra un resumen de los tipos de modelos o métodos que pueden aplicarse para estudiar la inundación costera, ejemplos concretos de esos modelos y las variables que intervienen.

Tabla 25.

Ejemplos de índices de impacto de inundación

COMPONENTE DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES QUE INTERVIENEN
Peligrosidad	$CI = MM + MA + SETUP + ANMM$	CI: cota de inundación. MM: marea meteorológica. MA: marea astronómica. Set-up: sobreelevación del nivel del mar debido a la rotura del oleaje. ANMM: aumento del nivel medio del mar.
Peligrosidad y exposición física	$ICP = n \frac{CI_{100}(\alpha_{MM} + \alpha_{SETUP})}{p}$	ICP: inundación costera potencial n: rugosidad del terreno CI ₁₀₀ : cota de inundación de 100 años de periodo de retorno. α_MM: contribución relativa de la marea meteorológica a la CI ₁₀₀ . α_SETUP: contribución relativa de la marea meteorológica a la CI ₁₀₀ . p: pendiente intermareal
Peligrosidad, exposición socioeconómica	$RI = ICP * EC$ $EC = Población * (Construido + Infraestructura)$	EC: Exposición ciudades. Población: densidad de población. Construido: área de uso del suelo construido. Infraestructura: área de infraestructura.

Cuadro 4.

Ejemplo de cálculo de la inundación costera utilizando un análisis Nivel 2 basado en indicadores

Ejemplo de caracterización de la inundación costera Nivel 2

El primer paso para realizar una caracterización de la inundación costera Nivel 2 es la selección del índice que se desea utilizar. En este ejemplo se ha escogido como índice el indicador cota inundación (CI) de 100 años de periodo de retorno. El periodo de retorno nos indica el intervalo de tiempo medio que transcurre entre ocurrencias de un evento de una intensidad definida. Por tanto, la CI de 100 años de periodo de retorno representa el valor de CI que, de media, en un horizonte temporal determinado (p.ej., en la actualidad o en 2100), se produce cada 100 años.

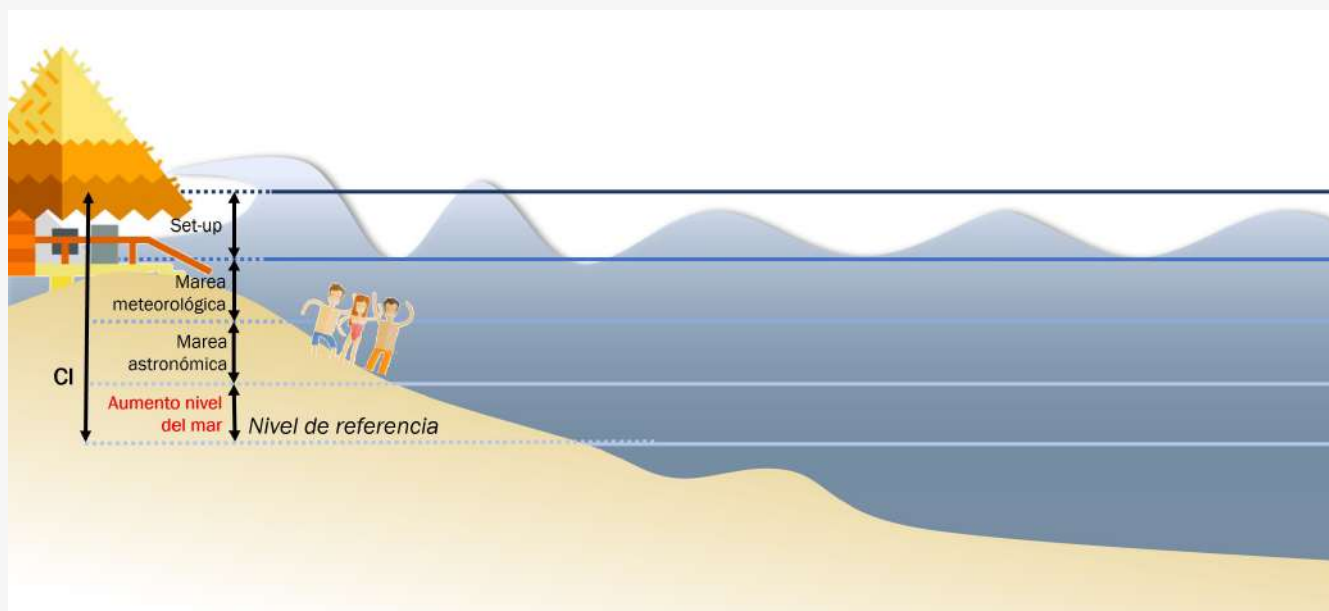
Las componentes de la CI son el oleaje (en forma de set-up), la marea meteorológica (MM) y la marea astronómica (MA). Si se quiere calcular la CI futura, además de estas variables proyectadas para un escenario y horizonte temporal dados, hay que añadir el aumento del nivel medio del mar (ANMM):

$$CI = Setup + MM + MA + ANMM$$

En la Figura A se muestra un esquema de la CI y sus componentes.

Cuadro 4. Figura A.

Esquema de la cota de inundación y de sus componentes sobre un perfil de playa.



El **segundo paso** es definir la formulación completa de la CI y los puntos en de la costa en los que va a reconstruirse. La escala geográfica y la resolución de las dinámicas condicionan el nivel de definición del indicador. Por ejemplo, a escala nacional y regional, y si la resolución de las bases de datos de oleaje y nivel del mar disponibles lo permite, lo deseable es reconstruir la CI cada kilómetro y cada 500-200 metros, respectivamente. La mayor complejidad a la hora de obtener la CI es el cálculo de la contribución del oleaje, que en este caso se ha definido en forma de set-up (o sobrelevación del nivel del mar por la rotura del oleaje). El set-up puede calcularse numéricamente o mediante formulación semiempírica. En este ejemplo, se va a utilizar la fórmula de Stockdon et al. (2006):

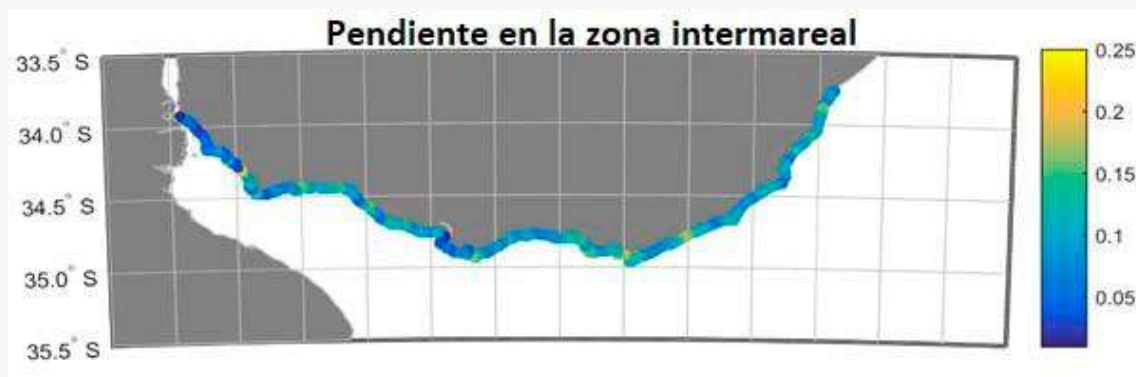
$$Setup = 0.35\beta_f(H_0L_0)^{1/2}$$

donde β_f es la pendiente intermareal de playa, H_0 es la altura de ola significativa en indefinidas y L_0 es la longitud de onda en indefinidas.

Para la obtención de la pendiente intermareal es necesario realizar un perfilado de la costa de estudio. Los perfiles deben tener el mismo nivel de definición que la CI, es decir, cada kilómetro o cada 500-200 metros, en función de la escala geográfica y de los datos disponibles, y deben orientarse de acuerdo con la dirección del flujo medio de energía del oleaje. Una vez definida la localización y orientación de los perfiles, estos se extraen cortando un modelo topo batimétrico, cuya resolución mínima deseable es de 30 metros a escala nacional y de 5 metros a escala regional. La pendiente intermareal se calcula a partir de la geometría real del perfil y las cotas de máxima pleamar y bajamar. En la Figura B está representada la distribución espacial de pendientes a lo largo de la costa de Uruguay cada kilómetro (escala nacional).

Cuadro 4. Figura B.

Distribución espacial de la pendiente intermareal cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.



De acuerdo con Stockdon et al. (2006), es necesario utilizar datos de oleaje en costa retro-propagados para disminuir los efectos locales. Esa profundidad depende de la zona de estudio, pero en muchos casos se encuentra entre los 15 y 20 metros. Los perfiles que se generen, por tanto, deben extenderse desde esa profundidad hasta la berma. Eso permitiría, además, poder calcular el set-up de forma numérica si se quisiese resolver la hidrodinámica de la zona de rompientes con más precisión (p.ej., para calibrar la formulación semiempírica) o para caracterizar posteriormente la inundación costera Nivel 3.

En la Figura C se muestra un tramo de la costa de la Comunidad Valenciana (España) con perfiles cada 200 metros (escala regional).

Cuadro 4. Figura C.

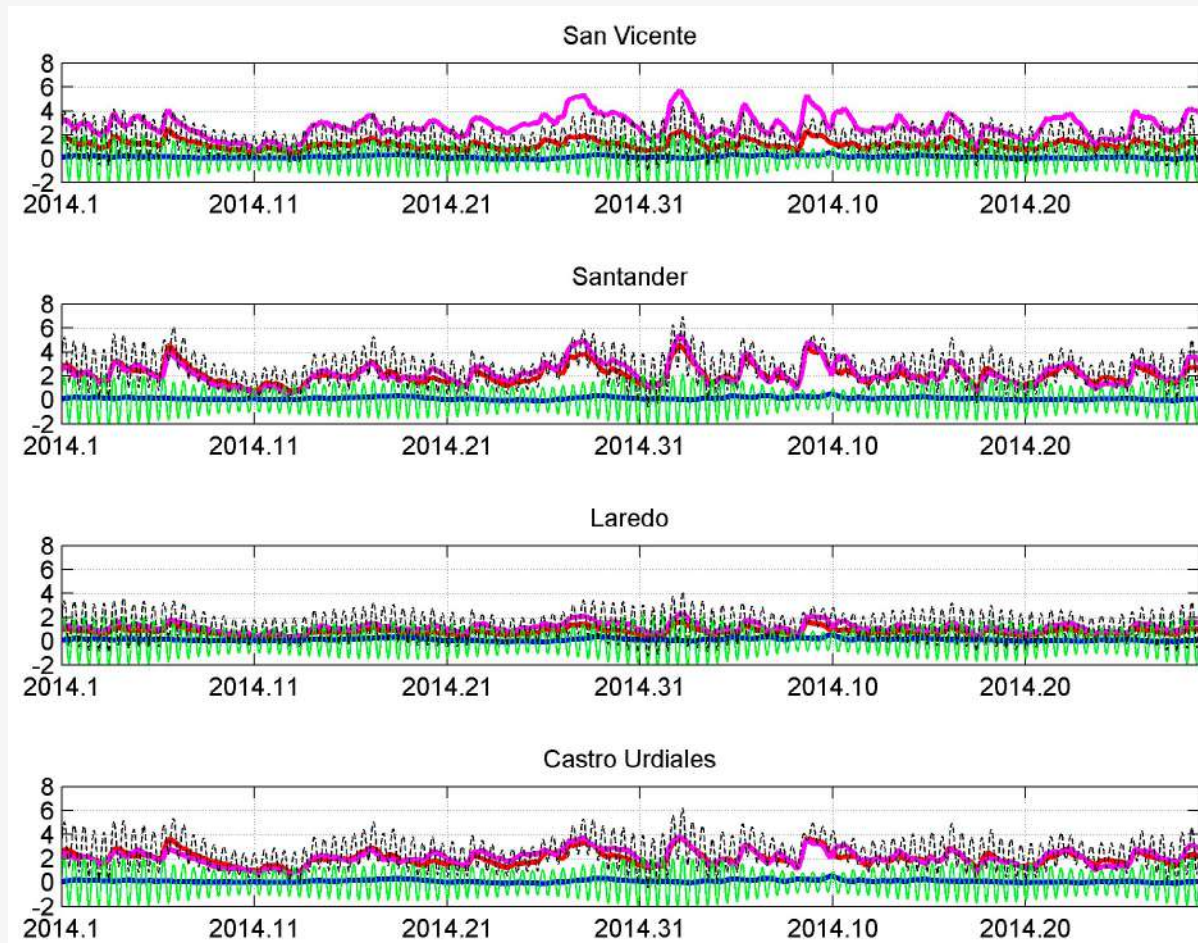
Perfilado cada 200 m de un tramo de la costa de la Comunidad Valenciana (España).



El **tercer paso** es calcular la CI a lo largo de la costa que se desee analizar en el pie de cada uno de los perfiles. Para ello, es necesario disponer en cada uno de esos puntos, de series temporales históricas o proyecciones de oleaje (H_0 y L_0 , marea meteorológica y marea astronómica y, si es preciso, el valor del aumento del nivel medio del mar. En la Figura D está representada la serie temporal de CI y de sus componentes de forma independiente en cuatro puntos de la costa de Cantabria (España).

Cuadro 4. Figura D.

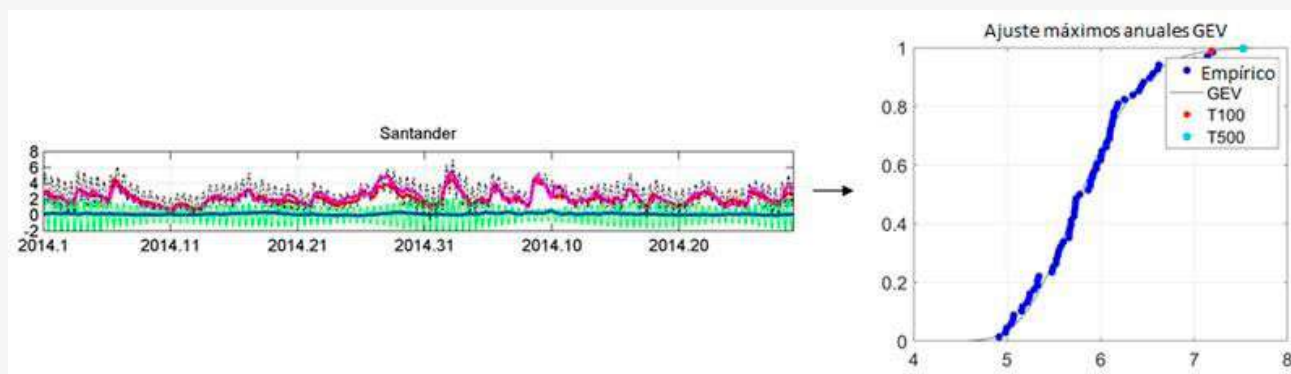
Series temporales de la cota de inundación (línea negra punteada) y de sus componentes (Set-up línea roja, marea meteorológica línea azul y marea astronómica línea verde) en cuatro puntos del litoral de Cantabria (España).



El cuarto paso consiste en, una vez calculada la serie de CI histórica o proyectada en el pie de cada perfil, analizar su régimen extremal. Para ello, es necesario extraer de la serie completa los valores máximos anuales (también podrían ser máximos mensuales) y ajustarlos a una función de extremos. En este ejemplo, se va a ajustar a una función generalizada de extremos (función GEV, de sus siglas en inglés). El ajuste a esta distribución permite obtener la CI asociada a diferentes periodos de retorno. Si se está trabajando con proyecciones, debe sumarse a esos valores de CI de un determinado periodo de retorno el valor del aumento del nivel medio del mar correspondiente. La razón por la que no se debe incluir el aumento del nivel medio del mar antes de realizar el ajuste del régimen extremal (a no ser que éste sea no estacionario) es porque se trata de una variable con una tendencia significativa que podría sesgar los resultados acumulando todos los eventos extremos de CI a fin de siglo. La realidad es distinta, ya que se van a producir eventos extremos de CI a lo largo de todo el siglo con la salvedad de que, a medida que pase el tiempo, estos van a ser cada vez más frecuentes. En la Figura E se muestra el ajuste de máximos anuales de CI en un punto de la costa de Santander, en Cantabria (España).

Cuadro 4. Figura E.

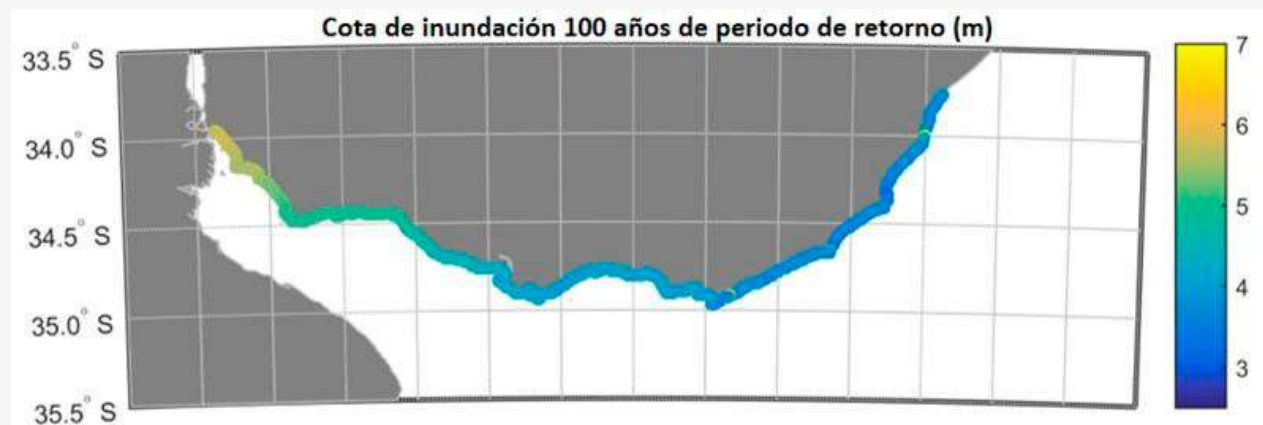
Panel izquierdo: serie temporal de la cota de inundación. Panel derecho: ajuste de máximos anuales de la serie de cota de inundación en ese mismo punto.



El quinto paso es la representación espacial del índice, en este caso, de la CI de 100 años de periodo de retorno. En la Figura F se representa la distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno en el clima actual a lo largo de la costa de Uruguay cada kilómetro.

Cuadro 4. Figura F.

Distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.



Como puede observarse, el gráfico muestra una variabilidad importante de la CI de 100 años de periodo de retorno con valores que varían entre los 3,5 m en la parte más abierta al Atlántico hasta los casi 6 m en la zona interior del estuario.

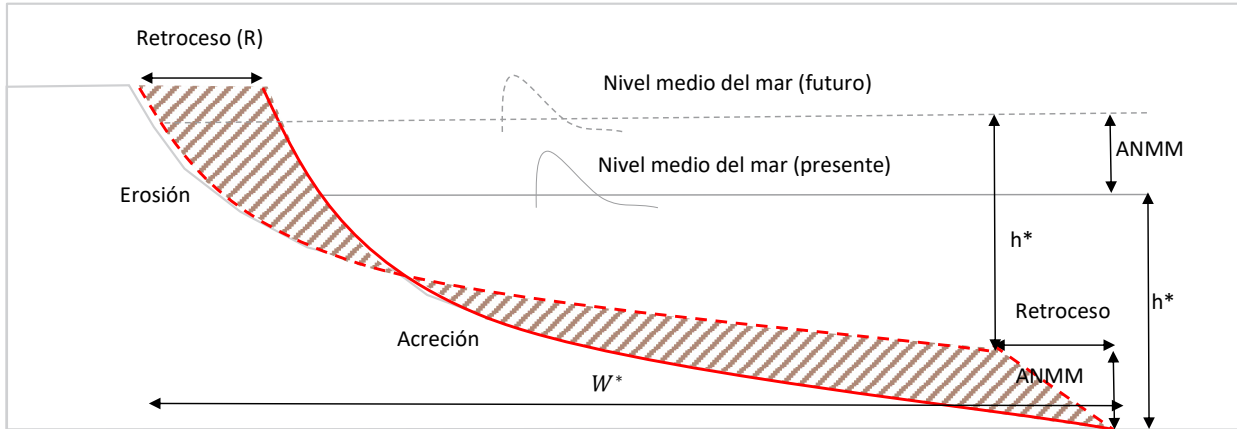
Erosión

Durante los últimos 60 años, se ha prestado cada vez más atención al estudio de la respuesta de la línea de costa frente al cambio climático. La regla de Bruun, enunciada por Per Bruun en 1962, sigue siendo utilizada por ingenieros de costas de todo el mundo como predictor del retroceso de la costa debido al ANMM basado en la teoría del perfil de equilibrio. Esta herramienta establece que la línea de costa retrocede de 50 a 100 veces lo que asciende el nivel medio del mar, asumiendo que el espacio de alojamiento de esta subida del nivel hace que el perfil se desplace hacia arriba y hacia tierra para preservar su forma de equilibrio. Debido a su simplicidad, la regla de Bruun puede utilizarse como

primer indicador de la respuesta de la costa al aumento del nivel medio del mar. La Figura 16 muestra los fundamentos y la geometría utilizada para caracterizar el retroceso del perfil de playa por ANMM.

Figura 16.

Descripción gráfica de los parámetros y procesos implicados en la regla de Bruun



R representa el movimiento hacia arriba y hacia tierra del perfil debido al ANMM y de obtiene como:

$$R_{Bruun} = -W^* \frac{ANMM}{B + h^*}$$

h^* es la profundidad de cierre del perfil, Birkemeier (1985),

$$h^* = 1.75H_{s12} - 57.9 \frac{H_{s12}^2}{gT_{p12}^2}$$

H_{s12} es la altura de ola significativa superada 12 horas al año

T_{p12} es el periodo de pico asociado a H_{s12}

Además de la regla de Bruun, existen otros indicadores, fáciles de calcular y que, con pocos datos, pueden dar una primera estimación del comportamiento de las playas frente a distintos procesos costeros a los que pueden estar sometidas. Estos indicadores pueden incluir de forma simplificada los transportes longitudinal y transversal, que dependen de las propiedades del oleaje en rotura, del tamaño del sedimento y de la pendiente de la playa, entre otros factores, y que pueden calcularse con diferentes formulaciones. Otros procesos que pueden controlar la evolución de los arenales incluyen el caudal de sólidos de los ríos, que a su vez incorpora aspectos relacionados con la exposición física como son las características de la cuenca, y el transporte eólico, que depende del viento y del tamaño del sedimento. Si los índices combinan indicadores de distinta naturaleza, el valor de estos suele adimensionalizarse. De este modo, como resultado, el índice proporciona diferentes niveles de severidad.

La Tabla 26 muestra un resumen de los tipos de modelos o métodos que pueden aplicarse para estudiar la erosión costera, ejemplos concretos de esos modelos y las variables que intervienen.

Tabla 26.

Tabla resumen de tipos de índices relacionados con la erosión costera y variables de que los componen

COMPONENTE DEL RIESGO	EJEMPLO DE ÍNDICES E INDICADORES	VARIABLES QUE INTERVIENEN
Peligrosidad	$Q_L = 100 \frac{Q_{L,P}}{Q_{L,max}}$	<p>Q_L: indicador del transporte longitudinal. Q_(L,max): tasa de transporte longitudinal potencial. Q_LW: tasa de transporte longitudinal media debida a alturas de ola que producen corrientes cuya velocidad supera un determinado umbral ponderada por la frecuencia de ocurrencia de esas olas.</p>
Peligrosidad	$Q_{T,avance} = 100 \frac{Q_{T,P}}{Q_{T,max}}$ $Q_{T,retroceso} = 100 \left(1 - \frac{Q_{T,P}}{Q_{T,max}} \right)$	<p>Q_T: indicador del transporte transversal hacia el mar (avance) o hacia tierra (retroceso). Q_(T,max): tasa de transporte transversal potencial. Q_TW: tasa de transporte transversal media debida a alturas de ola que producen corrientes cuya velocidad supera un determinado umbral ponderada por la frecuencia de ocurrencia de esas olas.</p>
Peligrosidad y exposición física	$Q_R = 100 \left(1 - \frac{D_P}{D_{max}} \right)$	<p>Q_R: indicador del caudal fluvial sólido, que puede ser positivo o negativo en función de si se trata de ganancia o pérdida, respectivamente. D_max: máxima descarga de sólidos, considerando</p>

valores medios durante periodos de 30 años.
 D_P: descarga de sólidos ponderada según su frecuencia de ocurrencia,

Peligrosidad

$$Q_{E,mar} = 100 \frac{q_P}{q_{max}}$$

$$Q_{E,tierra} = 100 \left(1 - \frac{q_P}{q_{max}}\right)$$

Q_E: indicador de la tasa de transporte eólico.
 q_(,max): tasa de transporte asociada a la máxima velocidad de corte del viento.
 q_P: tasa de transporte eólico media debida a vientos cuya velocidad de corte supera un determinado umbral ponderada por la frecuencia de ocurrencia de esos vientos.

Peligrosidad y exposición física

$$CLC = \frac{Q_L + Q_T + RC_{ANMM} + Q_R + Q_E}{5}$$

CLC: índice de cambio en la línea de costa.

Peligrosidad

$$RC_{ANMM} = 100 \left(\frac{R_S}{W}\right)$$

$$R_S = \frac{S * W_R}{d_c + B}$$

RC_ANMM: indicador del retroceso de la línea de costa debido al aumento del nivel medio del mar.
 R_S: retroceso de la línea de costa debido al aumento del nivel medio del mar (regla de Bruun).
 W: la anchura de la playa.
 S: aumento del nivel medio del mar.
 W_R: anchura de la zona de rompientes.
 d_c: profundidad de cierre del perfil.
 B: altura de la berma.

Peligrosidad y exposición física

$$R_{ANMM} = W^* \frac{ANMM}{B + h^*}$$

$$h^* = 1.75H_{s_{12}} - 57.9 \frac{H_{s_{12}}^2}{gT_{p_{12}}^2}$$

$$W^* = \left(\frac{h^*}{A}\right)^{\frac{3}{2}}$$

R_ANMM: retroceso de la línea de costa debido al aumento del nivel medio del mar (regla de Bruun).
 ANMM: aumento del nivel medio del mar.
 W^*: anchura del perfil activo.
 h^*: profundidad de cierre del perfil.
 B: altura de la berma.
 H_(s_12): altura de ola significativa superada 12 h/año.
 T_(p_12): periodo de pico asociado a la H_(s_12).
 A: parámetro de Dean. Depende del D50.

Peligrosidad y exposición física

$$R_{ANMM,CP} = W_b \frac{ANMM + 0.068H_b}{B + h_b}$$

$$W_b = \left(\frac{h_b}{A}\right)^{\frac{3}{2}}$$

R_(ANMM,CP): retroceso de la línea de costa debido al aumento del nivel medio del mar y al set-up del oleaje.
 ANMM: aumento del nivel medio del mar.
 H_s: altura de ola significativa en rotura.
 W_b: anchura del perfil activo.
 h_b: profundidad de rotura.
 B: altura de la berma.

Peligrosidad y exposición física

$$C_{ANMM,F} = -W^* \frac{ANMM}{B + h^*} - \frac{V_{sumidero}}{L(B + h^*)} + \frac{V_{fuente}}{L(B + h^*)}$$

R_(ANMM,F): cambio en la línea de costa por efecto del aumento del nivel medio del mar y otras fuentes y/o sumideros
 ANMM: aumento del nivel medio del mar.
 W^*: anchura del perfil activo.
 h^*: profundidad de cierre del perfil.
 B: altura de la berma.
 V_sumidero: volumen de arena perdida.
 V_fuente: volumen de arena ganada.
 L: longitud de la playa.

Cuadro 5.

Ejemplo de caracterización de la erosión costera debido al ANMM utilizando un análisis Nivel 2

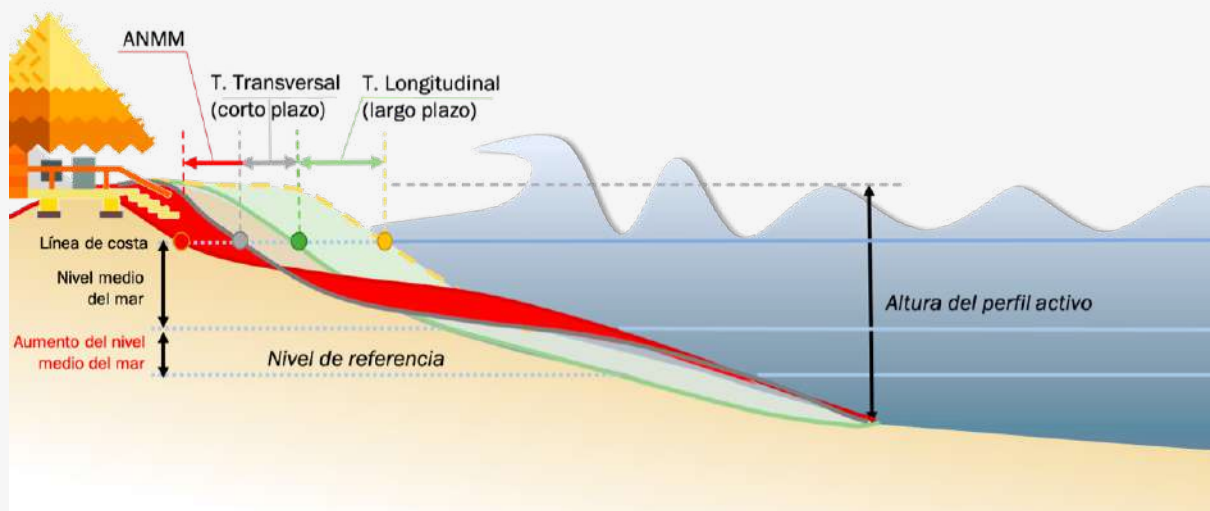
Ejemplo de caracterización de la erosión costera Nivel 2

El primer paso para realizar una caracterización de la erosión costera Nivel 2 es la selección del índice que se desea utilizar. En este ejemplo se ha escogido como índice el indicador de retroceso de la línea de costa por efecto del aumento del nivel medio del mar (ANMM) y la pérdida de superficie asociada.

En la Figura A se muestra un esquema de los cambios en la línea de costa asociados a los diferentes tipos de transporte de sedimentos. Como puede observarse, el transporte longitudinal, esencialmente debido al oleaje y a las corrientes que se producen cuando éste rompe, y el transporte transversal de corto plazo, que ocurre por el efecto combinado de oleaje y nivel del mar, hacen que, respectivamente, la línea de costa se desplace hacia tierra o hacia el mar, u oscile en escalas de tiempo menores en torno a una posición media. Estos movimientos están representados por las flechas bidireccionales de color verde y gris. El ANMM, no obstante, produce un transporte transversal de largo plazo que da lugar al retroceso permanente o estructural de la línea de costa (flecha roja unidireccional).

Cuadro 5. Figura A.

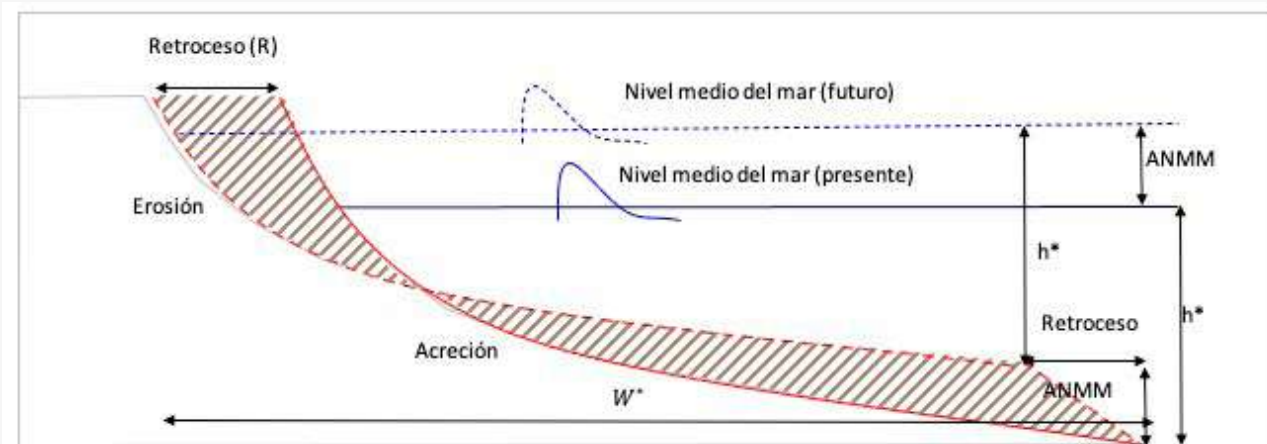
Esquema de los tipos de transporte y el efecto que producen sobre el perfil de playa.



El segundo paso consiste en definir la formulación completa que se va a emplear para calcular el indicador seleccionado. En este ejemplo, el retroceso permanente o estructural debido al ANMM se va a determinar mediante la aplicación de la Regla de Bruun (Bruun, 1962). Esta herramienta, que se basa en el perfil de equilibrio, establece que, un aumento del nivel produce un desplazamiento hacia arriba y hacia tierra del perfil manteniendo su forma y, por tanto, conservando el sedimento. La Figura B muestra una representación gráfica de este proceso.

Cuadro 5. Figura B.

Representación del retraqueo del perfil de playa por efecto del nivel medio del mar de acuerdo con la Regla de Bruun (Bruun, 1962).



La Regla de Bruun permite obtener el retroceso de la línea de costa en función del ANMM y, de forma implícita, del oleaje:

$$R_{Bruun} = W^* \frac{ANMM}{B + h^*}$$

donde W^* es el ancho del perfil activo, B es la cota de la berma y h^* es la profundidad de cierre del perfil activo. W^* se extiende desde la línea de costa hasta h^* , por lo que depende de h^* y del tamaño de sedimento, pudiéndose calcular como: $W^* = \left(\frac{h^*}{A}\right)^{3/2}$ donde es el parámetro de escala del perfil (Moore, 1982) y es función del tamaño representativo del sedimento o D_{50} (tamaño que corresponde a la mediana de la distribución).

h^* establece la profundidad límite a partir de la cual el oleaje deja de influir en la zona del perfil y puede calcularse de forma semiempírica. Una de las formulaciones más utilizadas es la de Birkemeier (1985), que vincula h^* con la altura de ola superada, de media, 12 horas al año (H_{s12}) a través de la siguiente relación: $h^* = 1.57H_{s12}$. Para determinar la H_{s12} es necesario disponer de series horarias de oleaje en costa, ordenar, año a año, la altura de ola de mayor a menor y quedarnos con la altura de ola correspondiente a la decimotercera posición y calcular la media del conjunto de años.

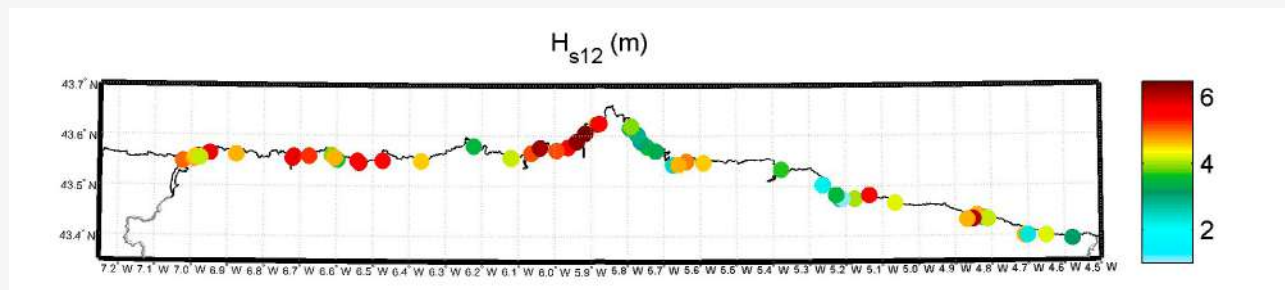
Finalmente, la B puede obtenerse a partir de observaciones (p. ej., medidas in situ) o mediante la aplicación de formulación semiempírica. Un ejemplo de formulación semiempírica es la propuesta por Takeda y Sunamura (1982), que asume que B depende de las condiciones del oleaje medio (en rotura):

$B = 0.125(gT_p^2)^{3/8} H_b^{5/8}$ donde es H_b y T_p son la altura de ola significativa en rotura y el periodo pico asociado, respectivamente, y g es la gravedad. Los parámetros del oleaje en rotura se pueden obtener mediante modelado numérico, o bien de forma muy simplificada, asumiendo teoría lineal de ondas y batimetría recta y paralela (Ley de Snell) y fijando un criterio de rotura (p. ej., el criterio de rotura espectral que establece $H_b = 0.55h_b$ donde h_b es la profundidad de rotura)

El **tercer paso** es definir los puntos de la costa en los que se va a calcular el indicador y la obtención de los datos y/o parámetros necesarios para determinar su valor. Para ello, es necesario discretizar la costa en perfiles orientados de acuerdo con la dirección del flujo medio de energía del oleaje. Estos perfiles deberán tener el mismo nivel de definición que los forzamientos que, en este ejemplo, son el ANMM y el oleaje, y extenderse desde la h^* hasta la berma. Lo deseable es cada kilómetro a escala nacional y cada 500-200 metros a escala regional. Una vez definida la localización y orientación de los perfiles, a cada uno de ellos se les asignará el D_{50} correspondiente. Por ejemplo, en la Figura C está representada la distribución espacial de H_{s12} en 50 playas encajadas del litoral del Principado de Asturias (España).

Cuadro 5. Figura C.

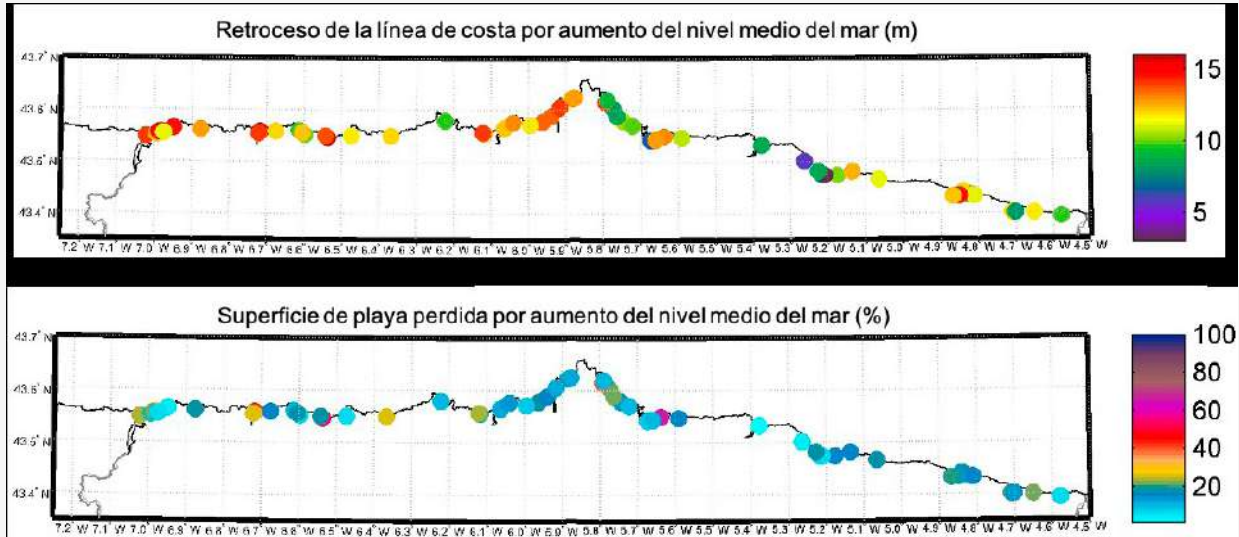
Distribución espacial de H_{s12} (m) en 50 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España).



El cuarto paso es aplicar la formulación y representar el valor del índice espacialmente. En la Figura D se muestra la distribución espacial del retroceso de la línea de costa por efecto del ANMM en las 57 playas asturianas (panel superior) y la pérdida de superficie de playa asociada relativa a la superficie actual (panel inferior). La pérdida de superficie relativa se ha determinado multiplicando el retroceso por la longitud de playa y calculando el porcentaje que esa pérdida supone con respecto al área actual.

Cuadro 5. Figura D.

Distribución espacial del retroceso (m) y la superficie de playa perdida (%) por efecto del ANMM en 50 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España).



De manera análoga y sobre la base conceptual elaborada en la Figura 9 para puertos, se puede construir una tabla para definir indicadores de impacto para analizar, por ejemplo, los impactos del cambio climático sobre las operaciones portuarias. En la Tabla 27 se muestra un conjunto de indicadores de impactos, con sus unidades, una descripción del impacto y el forzamiento climático inductor del mismo. Obsérvese que, en este sentido, la aproximación es semejante a la desarrollada en el marco de los CIDs y descrita en el Paso 2.

INDICADOR DE IMPACTO		UNIDADES	IMPACTO	FORZAMIENTO CLIMÁTICO
PRECIPITACIÓN				
Precipitación del periodo de retorno de 25 años	P25	mm	Incremento de daños en el sistema de drenaje por aumento en la precipitación extrema, incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en la precipitación extrema, aumento del coste de mantenimiento del sistema de drenaje por aumento en la precipitación extrema	Cambios en la precipitación: precipitación diaria
Precipitación media mensual	PMM	mm	Aumento del coste de mantenimiento del pavimento por aumento en la precipitación	
Precipitación media mensual en la cuenca	PMM	mm	Aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica fluvial	
VIENTO				
Número medio de horas anuales en las que el viento medio a 10 m y 1 min de ráfaga es superior a 22 m/s	HV	horas/año	Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en las ráfagas de viento	Cambios en el viento: velocidad media del viento a 10 m horaria
Número medio de incidencias anuales en las que la velocidad del viento media a 10 m y 1 min de ráfaga supera el umbral mínimo de la curva de daño (30 m/s)	NV	incidencias/año	incidencias/año Incremento de daños en instalaciones y equipamiento por aumento en las ráfagas de viento	
% de daño medio asociado al viento de ráfaga en cada incidencia	DV	%		
TEMPERATURA				
Número medio de días anuales en los que la temperatura máxima diaria supera los 40°C	DT	días/año	Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento de temperatura	Cambios en la temperatura: temperatura máxima diaria
Temperatura media anual ponderada del pavimento	TMAPP	°C	Aumento del coste de mantenimiento del pavimento por aumento de temperatura	Cambios en la temperatura: temperatura máxima y mínima diaria
Grados-día de refrigeración medios anuales con base 18,5°C	GDR	grados-día/año	Aumento del coste de energía por aumento de temperatura	
SLR				
Subida del nivel medio del mar	SNMM	m	Aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica fluvial, aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica marina	Aumento del nivel medio del mar

INDICADOR DE IMPACTO		UNIDADES	IMPACTO	FORZAMIENTO CLIMÁTICO
AGITACIÓN PORTUARIA				
Número medio de horas anuales en las que la altura de ola significativa supera 2,5 m en la entrada	HAE	horas/año	Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en la agitación	Cambios en el oleaje: altura de ola significativa, dirección media y periodo horarios
Número medio de horas anuales en las que la altura de ola significativa supera 0,4 m en dársenas deportivas y pesqueras	HAB	horas/año		Cambios en la marea meteorológica horaria Aumento del nivel medio del mar
ESTABILIDAD				
% de daño asociado a la H50 acumulada en los periodos analizados	DDT	%	Incremento de daños en diques por reducción de estabilidad debido al aumento en la sollicitación	Cambios en el oleaje: altura de ola significativa, dirección media y periodo horarios Cambios en la marea meteorológica horaria Aumento del nivel medio del mar
Número medio de incidencias anuales en las que no se cumplen los requisitos de los coeficientes de seguridad al deslizamiento y al vuelco	NDV	incidencias/año		
REBASE				
Número medio de horas anuales en las que el rebase instantáneo supera 0.03 l/s/m	HO	horas/año	Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento de rebase	Cambios en el oleaje: altura de ola significativa, dirección media y periodo horarios Cambios en la marea meteorológica horaria Aumento del nivel medio del mar
Número medio de horas anuales en las que el rebase instantáneo supera 1 l/s/m	NO	horas/año	Aumento del coste de mantenimiento de instalaciones y equipamiento por aumento de rebase	
INUNDACIÓN COSTERA				
Número medio de horas anuales en las que el francobordo disponible es inferior al mínimo de operaciones de 0,5 m	HF	horas/año	Incremento del tiempo de parada de operaciones por indisponibilidad del francobordo mínimo de operaciones	Cambios en el oleaje: altura de ola significativa, dirección media y periodo horarios Cambios en la marea meteorológica horaria Aumento del nivel medio del mar
Número medio de incidencias anuales en las que el nivel del mar total supera la cota de coronación del muelle, alcanzando el umbral mínimo de la curva de daño	NIC	incidencias/año	Incremento de daños sobre instalaciones y equipamiento por inundación costera	
% de daño medio asociado a la lámina de inundación en cada incidencia	DIC	%		
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS				
Tasa de transporte longitudinal de sedimentos media anual	Q	m3/año	Aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica marina	Cambios en el oleaje: altura de ola significativa, dirección media y periodo horarios Cambios en la marea meteorológica horaria Aumento del nivel medio del mar

Paso 5

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la vulnerabilidad

La determinación de la vulnerabilidad en Nivel 2 implica la selección de un conjunto de umbrales que permitan caracterizar la susceptibilidad de la exposición a ser afectada negativamente de forma cualitativa.

Al igual que en el Paso 3 para el caso de la exposición, será necesario aquí recurrir a una serie de indicadores que reflejen la vulnerabilidad de los distintos activos o elementos expuestos que se consideren. Esta caracterización no implica una menor determinación de los elementos que influyen en la vulnerabilidad, entre los que se incluyen:

- ✓ Caracterización física de los activos
- ✓ Estado de conservación
- ✓ Distribución espacial
- ✓ Estimación del tiempo de interrupción de los servicios para su recuperación

En la Tabla 28 se recogen algunas propuestas de indicadores de vulnerabilidad para distintos capítulos de exposición.

Tabla 28.

Ejemplos de indicadores de vulnerabilidad

CAPÍTULO DE EXPOSICIÓN	INDICADOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES INCLUIDAS
POBLACIÓN	población	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de población susceptible de sufrir daño
	construcciones	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de edificaciones susceptible de sufrir daño
ACTIVOS CONSTRUIDOS	actividad económica	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la producción económica (PIB) susceptible de verse afectada
CAPITAL SOCIAL	gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de edificaciones susceptible de sufrir daño • Porcentaje de personas atendidas susceptibles de perder servicios básicos

CAPÍTULO DE EXPOSICIÓN	INDICADOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES INCLUIDAS
INFRAESTRUCTURAS	infraestructuras (total)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de elementos susceptibles de sufrir daño • Porcentaje de personas atendidas susceptibles de perder servicios básicos
MEDIOAMBIENTE	medioambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de superficie de ecosistemas susceptibles de verse afectados • Capacidad de recuperación de los ecosistemas

Como en los casos anteriores, el Anexo 6 incluye una lista adicional de indicadores de vulnerabilidad, que se incluyen en la Tabla 29 de acuerdo con la categorización utilizada en dicho Anexo.

Tabla 29.
Ejemplos de indicadores de vulnerabilidad propuestos en el Anexo 6

	SECTOR	INDICADOR-MÉTRICA	UNIDADES	DATOS NECESARIOS
Vulnerabilidad	Personal	Caracterización de las personas afectadas por grupos de vulnerabilidad	Grupos de personas vulnerables a la amenaza	Recuento de personas por grupos vulnerables (ancianos, niños, extranjeros) por zonas de amenaza.
	Personal	Caracterización de los espacios por el nivel de renta de los residentes.	Distribución espacial de los niveles de renta. Capacidad de recuperación espontánea	Mapa de los niveles de renta personal. Agregados por zonas
	Activos	Vulnerabilidad de activos residenciales expuestos a amenazas	Deterioro de los activos según el grado de exposición a la intensidad de la amenaza	Función de transformación intensidad daños. Según tipo de activos
	Activos	Vulnerabilidad de activos productivos expuestos a amenazas	Deterioro de los activos según el grado de exposición a la intensidad de la amenaza	Función de transformación intensidad daños. Según tipo de activos
	Actividades	Empresas con planes de emergencia del negocio frente a eventos catastróficos	Caracterización de las fortalezas o debilidades de las empresas frente a amenazas	Indicador cualitativo
	Infraestructuras críticas	Caracterización de la cadena de fallos derivados de la pérdida de funcionalidad	Paralización de la actividad por interrupción de servicios básicos	Población atendida Grado de redundancia (núm. de fallos para fallo total)
	Ecosistemas (Alternativa)	Caracterización de la robustez –fragilidad del ecosistema ante una amenaza	Rangos de variables ambientales compatibles con los sistemas existentes	Valores umbrales. Evolución posible
	Ecosistemas	Caracterización de la robustez –fragilidad del medio	Estimación de la biodiversidad	Índice de biodiversidad

En algunas circunstancias, especialmente cuando analiza los riesgos del cambio climático sobre operaciones o aspectos funcionales, en lugar de sobre activos o personas, la vulnerabilidad se expresa como la superación de un cierto umbral de operación o funcionalidad. Este aspecto, ya ha sido descrito en el Paso 4 del Nivel I. No obstante, es importante destacar que la selección de umbrales debería hacerse sobre la base de recomendaciones, normativas o regulaciones existentes, así como de información basada en eventos pasados o científica. Esto es especialmente relevante a la hora de establecer umbrales para ecosistemas.

En la Tabla 30 se muestra un ejemplo de umbrales límite de operación para maniobra de operación y la de carga y descarga de diferentes tipos de buque en puertos. Estos umbrales han sido obtenidos de la normativa española e indican que, por ejemplo, la carga/descarga de graneles líquidos solo es posible cuando en la zona de operación la altura de ola significativa es inferior a 1 m. En el caso de que dicha altura de ola se supere, la operación no es viable con la consiguiente pérdida de ingresos por parada de operación.

Tabla 30.

Ejemplo de umbrales para operaciones en puertos (Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM))

Variable	Operación	Operación	Umbral
Altura de ola significativa	Maniobra de aproximación al puerto	Maniobra de aproximación al puerto	Hs=2.5 m
	Carga/descarga de Portacontenedores, ROPAX, Cruceros	Carga/descarga de Portacontenedores, ROPAX, Cruceros	Hs=0.3 m
	Carga/descarga de pesqueros y en marinas	Carga/descarga de pesqueros y en marinas	Hs=0.4 m
	Carga/descarga de graneles sólidos, tanques LNG y carga general	Carga/descarga de graneles sólidos, tanques LNG y carga general	Hs=0.8 m
	Carga/descarga de graneles líquidos	Carga/descarga de graneles líquidos	Hs=1 m
	Carga/descarga para graneles líquidos de >200,000 TPM	Carga/descarga para graneles líquidos de >200,000 TPM ¹⁰	Hs=1.5 m

10.TPM: toneladas de peso muerto

Paso 6

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar los riesgos/ consecuencias

El cálculo del riesgo en Nivel 2 implica obtener unos indicadores de riesgo que reflejen la situación de sus distintas componentes: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para uno o un conjunto de impactos sobre activos u funcionalidades.

Para integrar los índices de las componentes anteriores, una buena práctica de partida es el tratamiento estadístico de las mismas, mediante un proceso de normalización, estandarización y re-escalado, generalmente realizado mediante software de análisis de datos.

El objetivo de esta serie de tratamientos estadísticos es poder agregar los valores de los indicadores normalizados de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para generar los respectivos índices compuestos de riesgo. Este índice compuesto de riesgo es específico para cada combinación de componentes y escenarios analizados, y puede ser obtenido a distintas escalas espaciales, en función del nivel de detalle al que se esté trabajando.

Aunque en principio las tres componentes del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) contribuyen de igual forma a la determinación del nivel de riesgo, en teoría se pueden aplicar pesos distintos a las tres componentes. Esta diferencia de pesos no tiene por qué representar una mayor o menor relevancia, sino que puede estar asociada a que la información que aporta cada una de las componentes puede ser más específica, emplear métodos o datos de partida de mayor calidad, o tener una menor incertidumbre.

A la hora de agregar los indicadores se puede proceder a la agregación aritmética ponderada (agregación aditiva) o a la agregación geométrica ponderada (agregación multiplicativa). El mayor o menor nivel de riesgo se puede valorar mediante medidas de posición como deciles, quintiles, percentiles, etc., o expresar de

forma cualitativa trasladando la información numérica del indicador a categorías mediante la definición de diferentes intervalos.

Una vez obtenidos los valores del índice compuesto de riesgo para el conjunto de las unidades espaciales en las que se plantea el estudio, se recomienda generar esta información en forma de datos espaciales (capas SIG), para cada una de las fuentes de peligrosidad y escenarios temporales analizados, conteniendo los valores numéricos de todos los índices utilizados: peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y riesgo.

En principio, el objetivo es utilizar los indicadores para poder obtener un indicador de riesgo o consecuencias asociadas, mediante la siguiente ecuación:

$$R=P \times E \times V$$

donde R es el riesgo, E representa la exposición y V la vulnerabilidad que, a su vez puede evaluarse como el producto de la sensibilidad, S, por la capacidad adaptativa CA.

Al aplicar esta ecuación se presentan dos problemas fundamentales. El primero, como ya se ha dicho, la necesidad de re-escalar o normalizar la información y, en segundo lugar, su agregación. Por ejemplo, el riesgo puede obtenerse en un tramo de la costa determinado, considerando todos los impactos que se producen en el mismo sobre los activos o comunidades presentes (p.ej., inundación costera, erosión, olas de calor, etc.). Eso implicaría:

- ✓ Identificar el tramo de costa y todos los elementos expuestos y representarlos mediante su indicador de exposición correspondiente
- ✓ Para cada elemento expuesto identificar los potenciales impactos de cambio climático
- ✓ Para cada impacto analizar el indicador de peligrosidad que mejor lo representa
- ✓ Calcular el valor del indicador para el horizonte temporal y escenario de emisiones propuesto y su diferencia con respecto al periodo de referencia
- ✓ Para cada elemento expuesto, evaluar su sensibilidad y capacidad adaptativa
- ✓ Calcular el riesgo en dicha zona, como el sumatorio de todas las combinaciones anteriores
- ✓ Transformar el riesgo en consecuencias sociales, ambientales o económicas

El nivel de complejidad puede ser sumamente elevado o puede utilizarse un proceso de normalización estimando variaciones de 0 a 5 entre los rangos de cambio de cada una de las componentes de la ecuación.

A continuación, se muestran unos ejemplos.

Peligrosidad

$$\text{Cambio en la peligrosidad } (P, h) = \frac{(P_h - P_{ref})}{P_{ref}}$$

Para un tramo de la costa, un horizonte temporal, h y un escenario de emisiones, dados el cambio en la peligrosidad puede establecerse como la diferencia entre el valor de la variable que represente la peligrosidad en el horizonte establecido (p.ej., $ANMM_{2050}$) y el valor de referencia de ANMM (p.ej., $ANMM_{preindustrial}$). A dicha variación se le puede otorgar los siguientes porcentajes o descripción en función de los rangos de variación.

Tabla 31.

Ejemplo de normalización de los cambios en la peligrosidad para un horizonte temporal y escenario de emisiones dados

% de cambio en la peligrosidad	0	≤ 10	≤ 25	≤ 50	≤ 75	≤ 100
Valor del indicador normalizado	0	1	2	3	4	5
Descripción del indicador	Sin variación	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	Extremo

Obsérvese que los cambios en la peligrosidad también podrían conducir a una reducción, es decir, $P_h < P_{ref}$. En ese caso, el indicador normalizado también podría tener valores negativos.

Sensibilidad

Una de las componentes del riesgo es la vulnerabilidad que nos indica la predisposición o propensión de un activo o actividad expuestas a ser afectadas negativamente por un cambio en un forzamiento climático. Sensibilidad y capacidad adaptativa o

capacidad de afrontamiento son componentes de la vulnerabilidad. Por ello, uno de los primeros aspectos a considerar en el análisis de riesgos es la asignación de la sensibilidad a cualquier activo o actividad susceptible de verse afectada. Esto puede hacerse sobre la base de la selección de indicadores o umbrales de vulnerabilidad.

Por ejemplo, una casa sin cimentación tiene una sensibilidad superior frente a vientos extremos, que una casa con cimentación.

Para conseguir un nivel de normalización equivalente al que se ha expuesto para la peligrosidad, se pueden utilizar niveles de sensibilidad con sus definiciones correspondientes tal y como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32.

Ejemplo de normalización de la sensibilidad de un elemento expuesto para un impacto determinado

Valor normalizado del indicador de sensibilidad	Definición
5	Efectos muy significativos que pueden resultar en daños permanentes en el activo que obligan a su reemplazamiento o a ceses de varios meses en su operatividad o funcionalidad.
4	Efectos significativos que pueden resultar en daños sobre el activo que requieran su reparación o a ceses de varios días en su operatividad o funcionalidad.
3	Efectos intermedios que no generan daño directo sobre el activo pero que pueden afectar a su operatividad o funciones durante unos días.
2	Efecto fundamentalmente bajo que genera problemas ocasionales que pueden dar lugar a cese de operatividad o funcionalidad.
1	Efecto bajo con ligeros cambios sobre la operatividad o funcionalidad que están dentro de la normalidad de la variabilidad climática local.
0	Sin efecto.

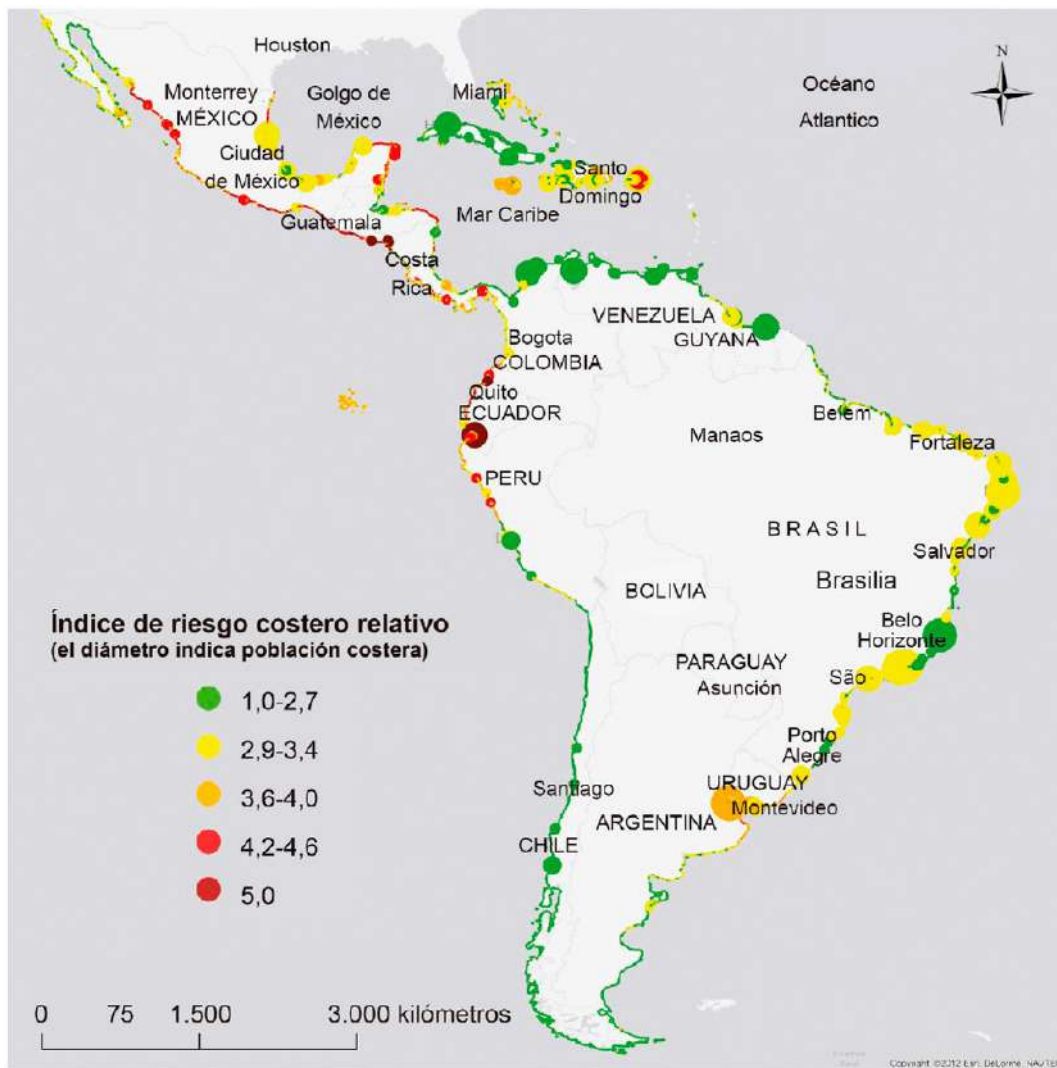
El valor normalizado del indicador de sensibilidad puede variarse al alza o a la baja en función de si la capacidad adaptativa del elemento expuesto es alta o baja, respectivamente (ver Paso 7). Por ejemplo, si un ecosistema costero que tiene una sensibilidad 3 al cambio climático se encuentra protegido, su capacidad

adaptativa será mayor, por lo que la vulnerabilidad resultante podría ser 4. Sin embargo, si dicho ecosistema se encuentra ya afectado por otro tipo de amenazas de origen antrópico que afectan a su funcionalidad, su vulnerabilidad resultante podría minorarse a 2 o incluso 1.

La Figura 17 muestra los resultados un análisis de riesgo Nivel 2 realizado para determinar dónde se encuentran los puntos de mayor riesgo en la costa de América Latina y Caribe. Para ello, integran en un indicador de riesgo, información sobre peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, obteniendo diversos indicadores compuestos.

Figura 17.

Ejemplo de uso de indicadores para la evaluación del riesgo (Cali et al., 2017)



Cuadro 6.

Ejemplo de indicadores de riesgo económico-financiero del CC en puertos.

Ejemplo de indicadores de riesgo económico-financiero del cambio climático en puertos

Los indicadores de entrada generados a partir de las variables climáticas, los umbrales de operatividad y funciones de daño asociados sirven para evaluar el riesgo que en este caso se ha determinado en términos de consecuencias económico/financieras. Para ellos se dividen los impactos en el Cuadro anterior en tres grupos:

- Incremento (Δ) de **daños sobre activos**: el incremento de daños sobre activos evalúa cuantitativamente las intervenciones que habría que abordar para hacer frente a los impactos del cambio climático. Se trata de impactos que causan daños significativos a la infraestructura, instalaciones y equipamiento.
- Incremento de **pérdidas de ingresos por parada operativa**: el incremento de pérdidas de ingresos es causado por impactos que reducen la operación de la infraestructura y por tanto los ingresos que ésta puede generar.
- Aumento de **costes de mantenimiento**: el aumento en los costes de mantenimiento es causado por impactos que implican pequeñas reparaciones que pueden ser resueltas sin necesidad de grandes inversiones, sino simplemente haciendo cambios en mantenimientos.

División de los modelos de impacto para la evaluación del riesgo

Δ de daños sobre activos [€]

- Incremento de daños sobre instalaciones y equipamiento por inundación costera
- Incremento de daños en diques en talud por reducción de estabilidad debido al aumento en la sollicitación
- Incremento de daños en diques verticales por reducción de estabilidad debido al aumento en la sollicitación
- Incremento de daños en instalaciones y equipamiento por aumento en las ráfagas de viento
- Incremento de daños en el sistema de drenaje por aumento en la precipitación extrema

Δ de pérdidas de ingresos [€]

- Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en la precipitación extrema
- Incremento del tiempo de parada de operaciones por indisponibilidad del francobordo mínimo de operaciones
- Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en las ráfagas de viento
- Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento de temperaturas
- Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento en la agitación
- Incremento del tiempo de parada de operaciones por aumento de rebase

 Δ de costes de mantenimiento [€]

- Aumento del coste de mantenimiento del sistema de drenaje por aumento en la precipitación extrema
- Aumento del coste de mantenimiento del pavimento por aumento en la precipitación
- Aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica fluvial
- Aumento del coste de mantenimiento de dragado por descarga de sedimentos de dinámica marina
- Aumento del coste de mantenimiento del pavimento por aumento de temperatura
- Aumento del coste de mantenimiento de instalaciones y equipamiento por aumento de rebase
- Aumento del coste de energía por aumento de la temperatura

Para calcular los incrementos de daños sobre activos, se tiene en cuenta la valoración del activo afectado, el porcentaje de activo expuesto, según criterio de experto, el número medio de incidencias al año en el periodo horizonte y por último el porcentaje de daño al activo asociado a la intensidad del evento climático a través de las funciones de daño. El % de activo expuesto en el caso de daños por inundación costera en instalaciones y equipamiento es de 45%, en el caso de daños por viento en instalaciones y equipamiento es 35% y en los diques de abrigo se considera que el 20% está expuesto.

$$\text{Incremento de} \\ \text{daños sobre} \\ \text{activos} = \text{Valor del} \\ \text{activo} \cdot \% \text{ del} \\ \text{activo} \\ \text{expuesto} \cdot \Delta \left(\begin{array}{l} \text{N}^{\circ} \text{ medio de} \\ \text{incidencias} \\ \text{al año en el} \\ \text{horizonte} \end{array} \cdot \begin{array}{l} \% \text{ de daño} \\ \text{(función} \\ \text{de daño)} \\ \text{—} \end{array} \right)$$

Para obtener el incremento de pérdidas de ingresos, se multiplican los ingresos horarios o diarios, según las unidades del indicador, por el incremento en horas inoperativas entre el indicador en el horizonte y el periodo base.

El aumento en costes de mantenimiento se puede calcular a través de una función de daño, como en los modelos de impacto de aumento de costes de mantenimiento en pavimentos, o a través de variaciones porcentuales en el indicador de impacto, como el aumento en costes de energía.

$$\text{Aumento en} \\ \text{costes de} \\ \text{mantenimiento} = \begin{array}{l} \% \text{ coste de reparaciones} \\ \text{según función de daño} \\ \text{o variación de indicador de entrada} \end{array}$$

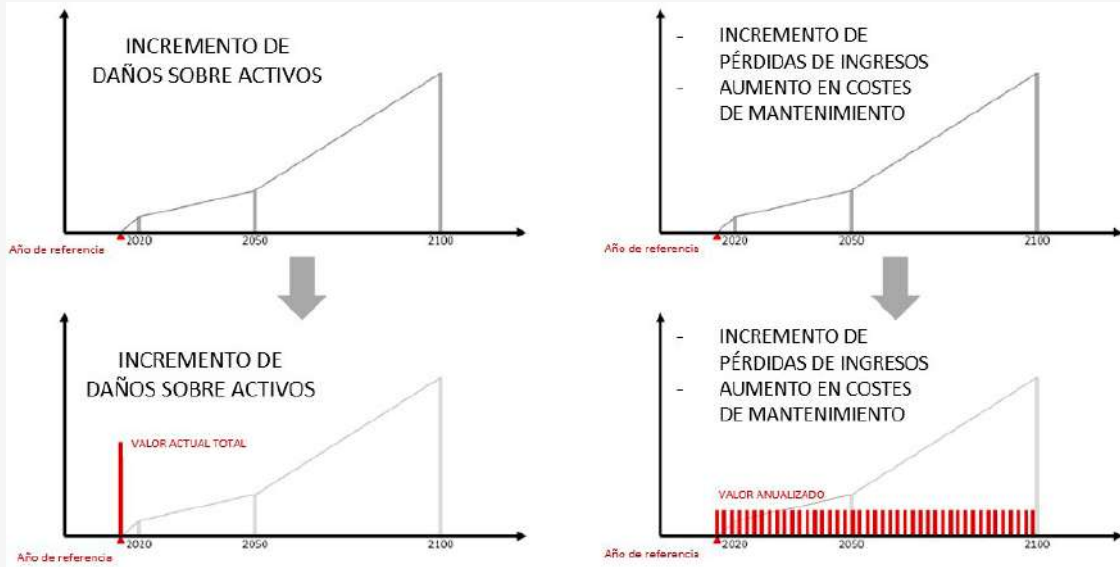
Para calcular los indicadores de riesgo a partir de los indicadores de consecuencia, es necesario estimar primero los incrementos de daños anuales causados por los impactos en los períodos de referencia (p.e. medio plazo 2050 (2026-2045) y largo plazo 2100 (2081-2100)). Entre los diferentes períodos, la hipótesis es que el daño aumenta de forma lineal.

Con la distribución temporal de los daños obtenidos, se siguen dos caminos diferentes, Figura A:

- Para los incrementos de daños sobre activos, se obtiene el valor descontado de los daños previstos para los dos horizontes al año de referencia base. La lógica para esto es la suposición de que las acciones involucradas en daños sobre activos son discretas en el tiempo.
- Para el aumento en costes de mantenimiento y el incremento de pérdidas de ingresos, primero se interpolan los costes operacionales a lo largo de la vida del proyecto bajo la hipótesis antes mencionada. Esta distribución es entonces anualizada en un EUAC (Equivalent Annual Uniform Cost). De esta manera, la evolución temporal se nivela a un monto anual equivalente del mismo coste operacional en todo el horizonte. La lógica de este enfoque es la suposición de que los costes operacionales existen continuamente a lo largo del tiempo.

Cuadro 6. Figura A.

Método para analizar el incremento de daños sobre activos, el incremento de pérdidas de ingresos y aumento en costes de mantenimiento



Los ingresos y costes de mantenimiento también se anualizan. Estos deben estimarse a lo largo de los años sobre la base de la tasa actual de ocupación del puerto y de la tasa de crecimiento, hasta que se alcance la capacidad máxima. En una segunda fase, se calcula el EUAC.

Cuadro 6. Figura B.

Método para anualizar los ingresos y costes de mantenimiento



Con los resultados de los indicadores de consecuencia, procesados a través de los caminos descritos, de incrementos de daños sobre activos, incremento de pérdidas de ingresos y aumento en costes de mantenimiento, la herramienta calcula los tres indicadores de riesgo respectivamente.

- El **indicador de riesgo sobre activos** se calcula como la acumulación de incremento de daños sobre activos entre la valoración total del puerto.

$$\% \text{ Riesgo sobre activos} = \frac{\Delta \text{daños sobre activos}}{\text{Valoración total del puerto}} \cdot 100$$

- El **indicador de riesgo sobre costes de mantenimiento** se calcula como el incremento en costes entre el coste de mantenimiento anual total esperado del puerto.

$$\% \text{ Riesgo sobre costes de mantenimiento} = \frac{\Delta \text{costes de mantenimiento}}{\text{Costes de mantenimiento anuales}} \cdot 100$$

- El **indicador de riesgo sobre ingresos** se calcula como el incremento de pérdidas de ingresos total entre los ingresos anuales del puerto.

$$\% \text{ Riesgo sobre ingresos} = \frac{\Delta \text{pérdidas de ingresos}}{\text{Ingresos anuales}} \cdot 100$$

El nivel de riesgo final se expresa cualitativamente, en función del valor obtenido para cada uno de los indicadores anteriores.

Los umbrales para cada uno de los riesgos deben ser fijados con criterio experto, en este caso, por los gestores del puerto considerando, teniendo en cuenta la experiencia histórica acumulada.

En este caso, la Tabla A muestra los diferentes niveles de riesgo disponibles:

- Si los 3 indicadores se mantienen por debajo del 3%, el riesgo se considera bajo.
- Si alguno de los 3 indicadores supera el 10%, el riesgo es alto.
- En el resto de situaciones el riesgo es medio.

Tabla A.

Definición del nivel de riesgo económico/financiero en un puerto

Riesgo	% RIESGO SOBRE COSTES DE MANTENIMIENTO O INGRESOS			
	Rango	3%	-	10%
% RIESGO SOBRE ACTIVOS		≤3%	3-10	≥10%
	10% ≥10%	ALTO	ALTO	ALTO
	- 3-10	MEDIO	MEDIO	ALTO
	3% ≤3%	BAJO	BAJO	ALTO

Paso 7

Selección y evaluación de indicadores para caracterizar la capacidad adaptativa

La caracterización de la capacidad adaptativa es esencial, especialmente, si no se desea incurrir en sobreestimaciones del riesgo.

Para considerar la capacidad adaptativa (ver Paso 7, Nivel 1) se pueden considerar diferentes ámbitos: organizativa, tecnológica, institucional, financiera o la propia de los ecosistemas. Asimismo, se puede considerar a diferentes niveles, la propia del elemento expuesto a aquella que caracteriza el sistema o subsistema sometido a evaluación.

El Anexo 6 recoge un conjunto de indicadores de capacidad adaptativa y en el Paso 7 del Nivel 1 se muestra un ejemplo en el que, con base en criterio experto, se definen indicadores que se evalúan con un procedimiento de normalización aplicable en este Nivel 2.

Cabe destacar, como ya se ha dicho en el Paso 6, que a la hora de proceder a la cuantificación, si se sigue un proceso de normalización la capacidad adaptativa puede verse como una forma de minoración o mayoración de la sensibilidad, de tal modo que la vulnerabilidad final aplicada, recoja una sensibilidad corregida que permita contribuir a la minoración o mayoración del riesgo.

Cuadro 7.

Contribución: “Estudios de riesgo de CC en las costas de Chile”.

“Estudios de riesgo de CC en las costas de Chile.”

Patricio Winckler Grez

Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso, CIGIDEN. Chile.

I. Introducción.

Chile se caracteriza por una costa que cubre 4200 km desde su límite con Perú y el extremo meridional en el Cabo de Hornos. El territorio presenta fuertes gradientes latitudinales que cubren desde un clima desértico en el norte hasta los bosques fríos de Patagonia. Su geomorfología está modelada por la subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana y gran parte de su territorio (18.4°S-41.5°S) exhibe una costa abierta al Océano Pacífico. La plataforma continental es de las más angostas a nivel mundial (Paris et al. 2016), mostrando una sismicidad activa, un largo historial de tsunamis y una gran exposición al cambio climático oceánico. En contraste, los fiordos australes (41.5°S-55.6°) ofrecen un abrigo relativo a las variables oceánicas, siendo de los más extensos del orbe (Cameron y Pritchard, 1963). Según el censo del 2017, en torno a 972.000 personas vivían los primeros 10 metros sobre el nivel del mar (msnm), en las una de las 100 comunas costeras continentales, 2 insulares o 4 conectadas al océano por grandes ríos (MMA, 2019). La combinación amenazas y exposición (Figura A) hace del país un laboratorio natural para estudiar los efectos del cambio climático en combinación con otras amenazas geofísicas que también afectan países ubicados en el Cinturón de Fuego del Pacífico.

Desde la Conferencia de las Partes, COP25, desarrollada en Madrid bajo la Presidencia de Chile, los estudios de riesgo del cambio climático en el país han proliferado. El primer esfuerzo sistemático constituye el estudio Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas

de Chile (MMA, 2019; en adelante CCCostas), que evaluó la amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo en 106 comunas costeras, insulares y fluviales a medio siglo (2026-2045) para el escenario RCP 8.5 respecto de una ventana histórica (1985-2004), profundizando en sistemas como las playas, humedales, puertos y caletas de pescadores. Basándose en dicho estudio, el Atlas de Riesgos Climáticos (MMA, 2020; Winckler et al., 2020a) definió mapas de amenaza, exposición, susceptibilidad y riesgos en una web orientada al diseño de políticas públicas. En particular, se analizaron las cadenas de impacto para 546 caletas pesqueras, 8 puertos estatales, 45 playas y 426 asentamientos costeros, jerarquizando cada uno de estos sistemas en función del riesgo normalizado. Actualmente, el Fondo de Investigación para la Acuicultura desarrolla un estudio para evaluar el desempeño y co-beneficios de las áreas marinas protegidas a la mitigación y adaptación al cambio climático (FIPA, 2022). En dicho estudio se generaron proyecciones de temperatura del mar, acidificación y oxígeno disuelto correspondientes a los nuevos escenarios de cambio climático (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), para horizontes cercano (2021-2040), intermedio (2041-2060) y lejano (2081-2100), con el ánimo de identificar los nichos espaciales asociados a especies de importancia económica para Chile.

Parte de estos estudios han sido sintetizados en publicaciones que cubren el análisis histórico de variables oceanográficas (Winckler et al., 2020), el impacto histórico en la erosión de playas (Martínez et al., 2021), sobre comunidades de lobos marinos (Sepúlveda et al., 2020), y sobre operatividad portuaria (Carvajal et al., 2021), además de proyecciones de riesgo operacional y de infraestructura en los principales puertos del país (Winckler et al., 2022). También se han desarrollado metodologías para combinar, bajo un enfoque de múltiples amenazas, la inundación asociada a tsunamis en combinación con el aumento del nivel del mar (Sepúlveda et al., 2021), y que han sido aplicadas en otras regiones. Parte de este material ha sido utilizado en propuestas para la actualización del Plan de Adaptación en Pesca y Acuicultura (CCCOP25, 2019) para un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (CCCOP25, 2019) y en textos de divulgación científica como Costas de Chile (Morales et al., 2021). Esta información, asimismo, será crucial para elaborar el Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Zona Costera, que constituye una exigencia de la recientemente promulgada Ley Marco de Cambio Climático (MMA, 2022). A continuación, se muestran ejemplos de estudios desarrollados en Chile en el marco de la evaluación de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y riesgo asociado al cambio climático en Chile.



2. Amenazas costeras a nivel nacional.

El análisis de los cambios climatológicos medios y extremos de variables oceánicas ha seguido metodologías como la ilustrada en la Figura B. La primera etapa contempla la selección de horizontes de análisis, escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Modelos de Circulación General (GCM) disponibles en el Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) para el diagnóstico de los impactos históricos y proyecciones del cambio climático. Dependiendo de la variable, se han utilizado las versiones CMIP5 o CMIP6.

Usualmente se analizan los cambios en los horizontes cercano (2021-2040), intermedio (2041-2060) y lejano (2081-2100) respecto de un período histórico (1985-2014), siendo el horizonte cercano importante para implementar medidas de adaptación y el lejano relevante para propiciar esfuerzos en mitigación. La selección de escenarios de emisiones usualmente privilegia escenarios intermedios (SSP2-4.5) y pesimistas (SSP5-8.5), cuyas narrativas define el IPCC (2021, p.54). El proceso contempla la homogeneización de los GCM y la generación de ensembles para cada percentil, escenario de emisiones y horizonte de tiempo. El análisis de los cambios asociados a cada GCM (Figura Ca) se repite en todos los GCM (Figura Cb) a partir de cuyos resultados se calculan las diferencias atribuidas al cambio climático (Figura Cc). Los cambios se calculan para valores climatológicos medios (p.ej., percentiles 50% y 99%) y extremos para diferentes períodos de retorno. La incertidumbre se presenta mediante bandas de confianza y se utilizan herramientas (p.ej., simulación de Montecarlo o bootstrapping) para dar más robustez a variables en las que se dispone de pocos GCM's (p.ej., pH, oxígeno disuelto, oleaje). También se calcula la concordancia (agreement) de las proyecciones siguiendo el modo de presentación del Interactive Atlas del IPCC .

3. Exposición costera a nivel nacional.

Los alcances de un estudio de exposición dependen del sistema que se analice. A modo de ejemplo, en CCCostas (MMA, 2019b) se definió la exposición de sistemas ubicados bajo los 10 msnm a nivel nacional siguiendo la definición de McGranahan et al. (2007). Esta cota permite también evaluar impactos asociados a la inundación por tsunamis, que, salvo excepciones, inundan bajo dicha cota. CCCostas contempló la elaboración de un modelo de elevación digital (DEM) en 106 comunas a partir de tres fuentes satelitales y planos topográficos en zonas urbanas. A partir del DEM se elaboró un inventario de exposición de los sistemas humanos y naturales ubicados bajo los 10 msnm, disponible en una plataforma del MMA . El inventario fue generado a partir de información disponible en los servicios públicos, levantamientos en terreno y talleres efectuados en varias ciudades. El inventario incluye 18.376 entradas separadas en 6 categorías (población, infraestructura, equipamiento, economía, sistemas naturales y otros), subdivididas a su vez en 76 tipos de entidades y presentada a nivel nacional, regional y comunal. En síntesis, el inventario identifica un total de

972.623 personas habitando bajo los 10 msnm, donde también se ubican 546 caletas pesqueras, 1692 humedales, 256 campos dunares, 1172 playas, 156 lugares de interés para la biodiversidad, 1198 equipamientos urbanos, 171 terminales marítimos, 475 elementos de infraestructura costera y 477 asentamientos, entre otros. A partir del inventario y mediante el uso de un índice comunal de exposición, se definieron 12 comunas críticas en las cuales Vicuña et al. (en revisión) evalúan el rol de los instrumentos de planificación territorial en la adaptación al cambio climático.

4. Vulnerabilidad costera a nivel nacional.

Un estudio de vulnerabilidad también depende del sistema que se analice. Como ejemplo, CCCostas (MMA, 2019c) se orientó a identificar los sistemas humanos y naturales identificados en el inventario de exposición (MMA, 2019b) y que serían inundados en la proyección (2026-2045) bajo el escenario RCP 8.5, siguiendo las líneas de inundación históricas y proyectadas disponibles en la plataforma del MMA. El estudio concluye que 589 manzanas censales, 46357 personas y 18338 viviendas pasarían a ubicarse en zonas de inundación e identifica infraestructuras vulnerables (p.ej., puentes, red vial, terminales marítimos, termoeléctricas e infraestructura sanitaria), equipamiento comunal (p.ej., bomberos, salud, educación y policía) y elementos asociados al turismo en riesgo. Adicionalmente se caracteriza la vulnerabilidad de playas, caletas y puertos y humedales, proponiendo medidas de adaptación específicas (MMA, 2019a). Otros estudios han evaluado el riesgo integrado a nivel comunal (Amigo et al., 2020), aun cuando, en general, la componente de vulnerabilidad está débilmente caracterizada en los estudios disponibles.

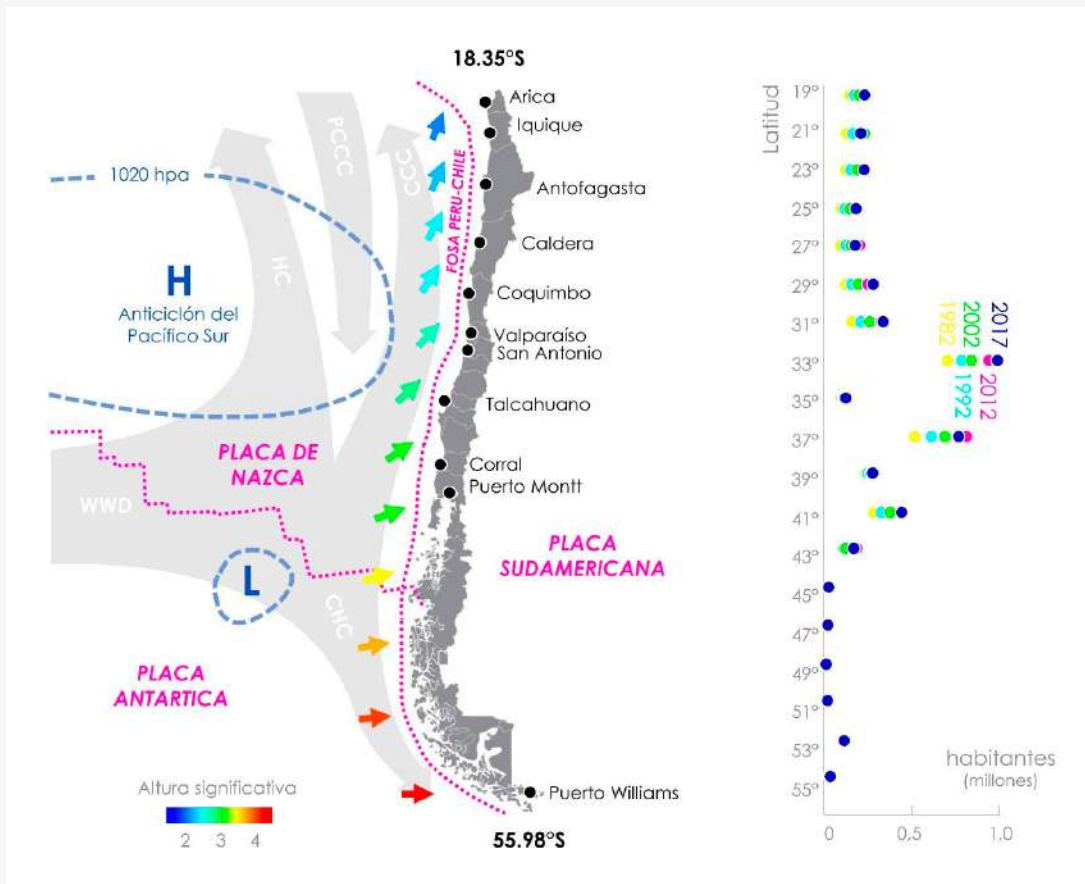
5. Riesgo del sistema portuario ante el cambio climático.

Se presenta, como ejemplo, la evaluación del impacto del cambio climático en los puertos estatales expuestos al Océano Pacífico. Winckler et al. (2022) evaluaron los costos económicos asociados al tiempo de parada operativa por marejadas de sitios de atraque (downtime) bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 en 7 puertos chilenos, que durante el año 2020 significaron pérdidas de ~US\$345 millones (CAMPORT, 2021). Las estadísticas de oleaje para un período histórico (1985–2004), mediados (2026–2045) y fines de siglo (2081–2100) se calcularon en el Océano Pacífico con seis GCM y se propagaron a cada puerto, donde se calculó el downtime comparando las alturas del oleaje con criterios de atraque de embarcaciones (PPEE, 2007). Los resultados muestran que algunos puertos reducirían y otros aumentarían el downtime a mediados de siglo, lo que a nivel agregado implica un beneficio menor de US\$ 2 a 4 millones anuales. A fines de siglo, los siete puertos experimentarían una reducción del downtime, con un beneficio valorizado US\$ 33 a 39 millones.

En el mismo estudio se evaluó el sobrepaso ante cambios proyectados del nivel del mar y el oleaje (Figura 4a), incluyendo un análisis sensibilidad ante deformaciones cosísmicas del terreno inferidas a partir de fuentes históricas y GPS (Figura Db). La Figura Dc muestra el cálculo del sobrepaso asociado a diferentes períodos de retorno. Para mediados de siglo, el sobrepaso aumentaría en los puertos del norte, mientras que en los puertos del sur se espera una ligera reducción (Figura Dd). A finales de siglo, el sobrepaso aumentaría en toda la región, impulsado principalmente por el aumento del nivel del mar (Figura De). Sin embargo, el sobrepaso aumentaría significativamente en caso de ocurrir subsidencia cosísmica durante la vida útil de una obra costera (Figura Df) o se reduciría drásticamente por el solevamiento del terreno (Figura Dg). Estos resultados sugieren que eventualmente en el futuro se requerirá de más fondos de reparación y mantenimiento de infraestructura costera y portuaria en el país.

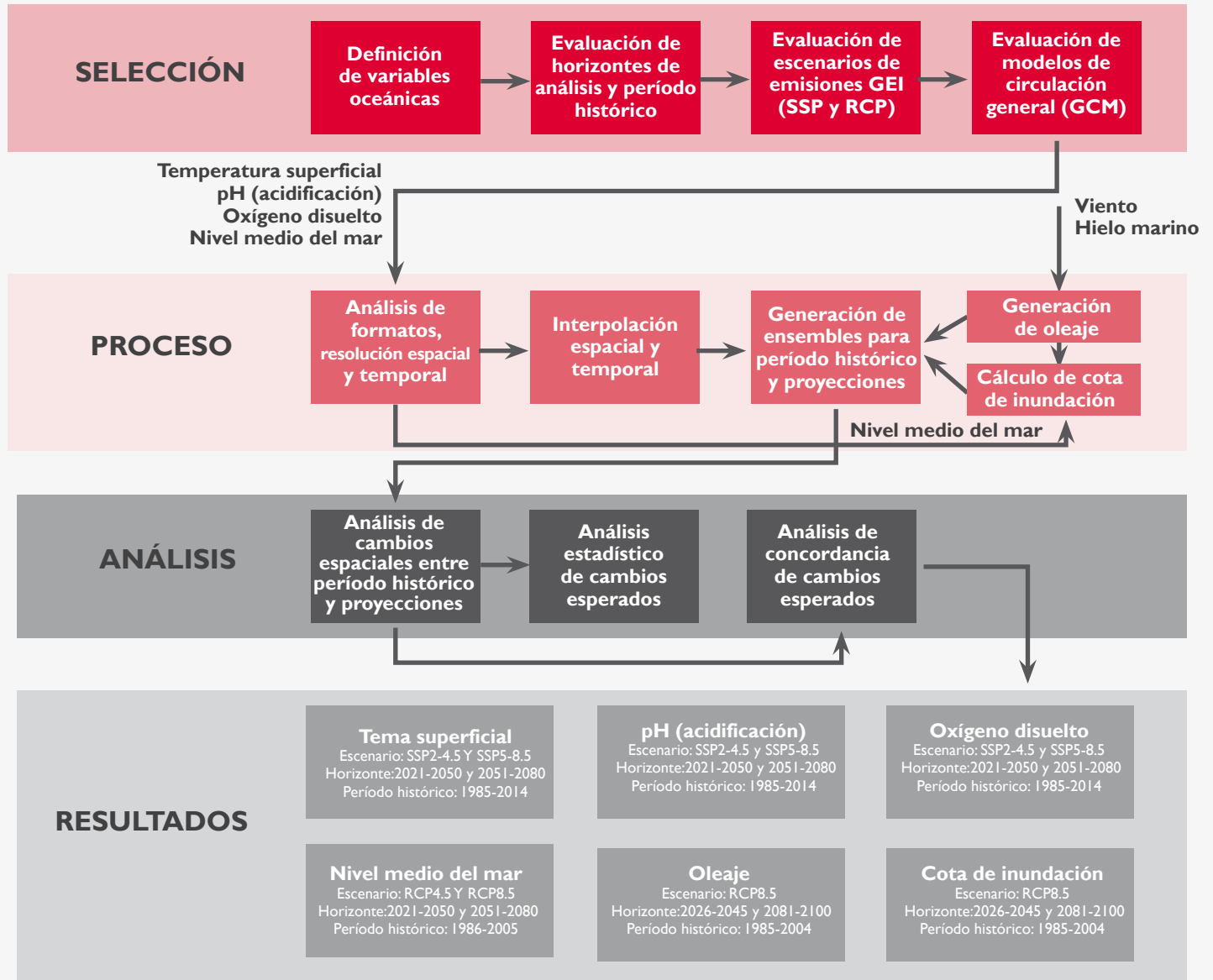
Cuadro 7. Figura A.

Variables geofísicas en Chile.



Cuadro 7. Figura B.

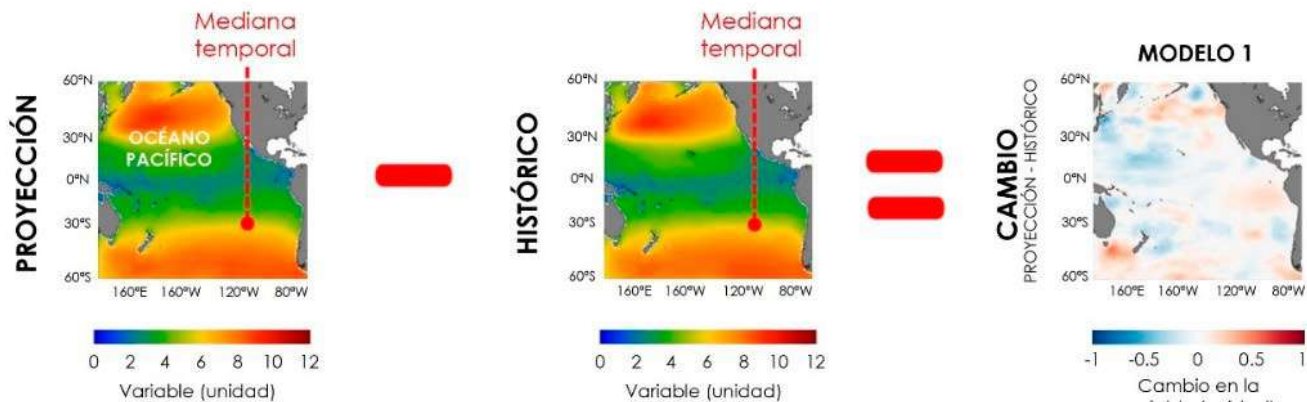
Metodología usada para calcular los cambios en las variables oceánicas.



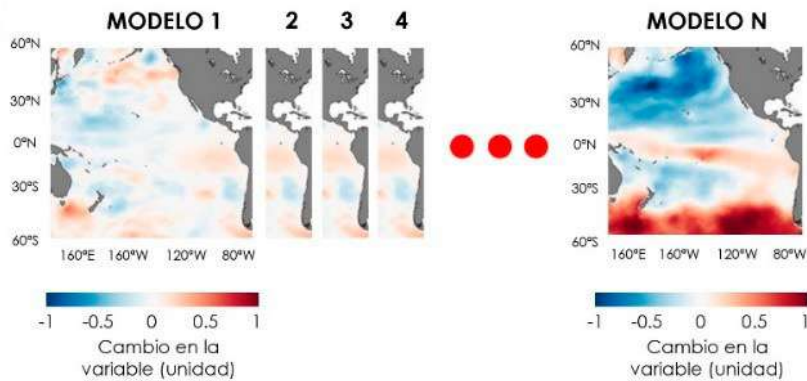
Cuadro 7. Figura C.

Esquema de la metodología de generación de ensembles en el Océano Pacífico.

a) ANÁLISIS DE UN MODELO (GCM)



b) ENSEMBLE: ANÁLISIS DE N MODELOS (GCM)



c) EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

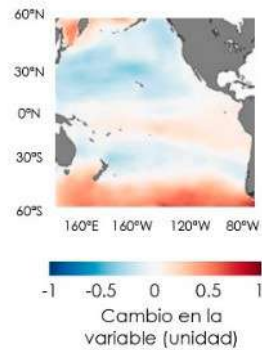
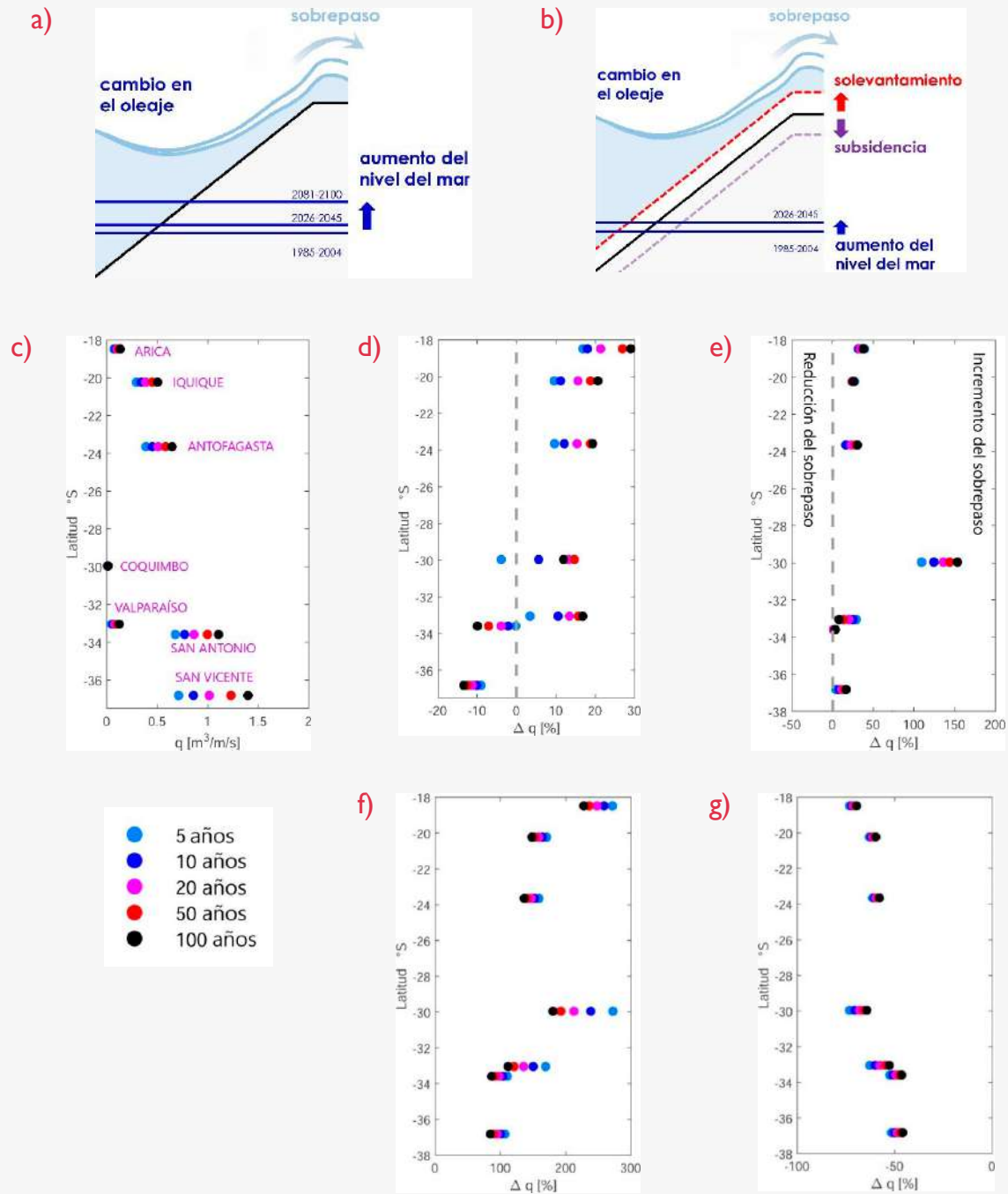


Figura D:
Modelo conceptual de cálculo.





FASE 2C. ANÁLISIS DE RIESGOS- NIVEL 3

INTRODUCCIÓN

La Fase 2c recoge la información del análisis de riesgos que tiene el mayor nivel de sofisticación y dificultad de ejecución. A la hora de realizar un análisis de riesgo de Nivel 3 es necesario tener en cuenta que la base metodológica general se mantiene, pero con una demanda considerable en la calidad de la información de partida, la resolución espacial de la misma y la descripción de los impactos, vulnerabilidad y resultados del análisis del riesgo.

Como se recoge en la Tabla 33, la realización de este análisis de riesgos requiere un alto nivel de especialización por parte del equipo de trabajo, importantes recursos y, especialmente, el acceso a una información de partida de alta calidad además de la capacidad de modelar los impactos relevantes para el análisis.

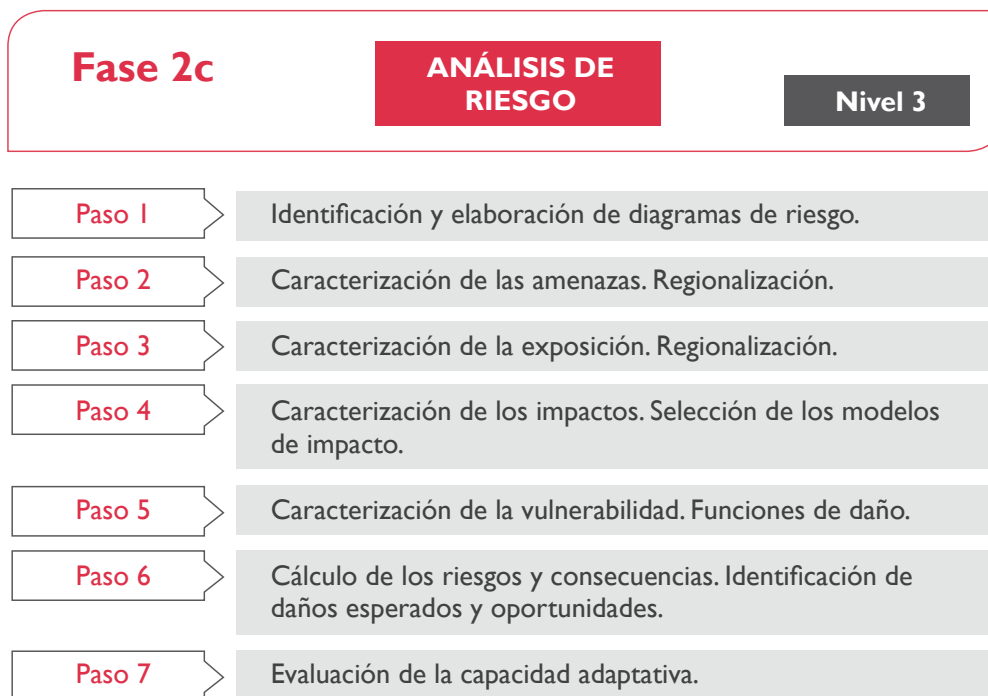
Los Pasos necesarios para proceder a la ejecución del Nivel 3, son los siguientes:

- ✓ Paso 1. Identificación y elaboración de diagramas de riesgo.
- ✓ Paso 2. Caracterización de las amenazas. Regionalización.
- ✓ Paso 3. Caracterización de la exposición. Regionalización.
- ✓ Paso 4. Caracterización de los impactos. Selección de los modelos de impacto.
- ✓ Paso 5. Caracterización de la vulnerabilidad. Funciones de daño.
- ✓ Paso 6. Cálculo de los riesgos y consecuencias. Identificación de daños esperados y oportunidades.
- ✓ Paso 7. Evaluación de la capacidad adaptativa.

Al igual que en las Fases anteriores, puede ser necesario o recomendable, introducir un Paso 0, destinado a revisar la Fase I de preparación y a actualizar los análisis de Nivel 1 o Nivel 2 que sirvan de base para este Nivel 3. Esto dependerá, entre otros, del flujo de trabajo seleccionado de acuerdo con la Figura 1, del nivel de actualización de los análisis anteriores, la aparición de nuevas bases de datos, el cambio de objetivos y/o alcance y la composición del equipo de trabajo, entre otros.

Tabla 33.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2c: Análisis de Riesgos-Nivel 3



Paso 1

Identificación y elaboración de diagramas de riesgo

El análisis preliminar de la Fase I y de los resultados del análisis de Nivel I y Nivel 2, deberían servir para que el equipo de trabajo adquiriera una visión clara de los sistemas, subsistemas, condiciones de contorno y aspectos climáticos que condicionan el análisis de riesgo de Nivel 3. Es decir, en este punto de la aplicación de la Guía, el equipo de trabajo debería ya contar con el conocimiento necesario para hacer un planteamiento detallado de la metodología, contenido y estructura del trabajo que será necesario realizar en el Nivel 3. Entre otros, el equipo de trabajo debería ser capaz de elaborar un conjunto de diagramas de flujo que representen, de forma esquemática, cómo afrontar el análisis de riesgos para los diferentes impactos que vayan a ser considerados en la zona de estudio.

Cuando se trabaja en un dominio geográfico determinado, será necesario desarrollar un diagrama de flujo equivalente para cada uno de los impactos a considerar. Por ejemplo, si se está trabajando en una ciudad costera pudiera ser necesario elaborar diagramas de flujo para: inundación costera, erosión costera, olas de calor, inundación por precipitación extrema y salinización de acuíferos. Cada uno de estos impactos debería tener en cuenta como integrar las componentes de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad y con qué modelos realizar la evaluación e impactos, así como definir cómo se definirán riesgos y consecuencias.

Asimismo, se deberá tener en cuenta que los diferentes impactos pueden tener lugar simultáneamente habrá que introducir las cadenas de impacto asociadas (ver Fase I).

En las Figuras 18, 19 y 20, se muestran 3 ejemplos de diagramas de flujo para la obtención del riesgo debido a inundación costera, erosión costera e intrusión salina en ríos y acuíferos costeros. Como se puede observar en cada uno de los diagramas el riesgo o consecuencias finalmente analizadas, son el resultado de la integración de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para cada uno de los impactos considerados. La selección de los elementos incluidos en cada una de esas componentes es orientativa y puede extenderse o reducirse en función de las características del sistema en riesgo analizado.

Figura 18.
Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la inundación costera.

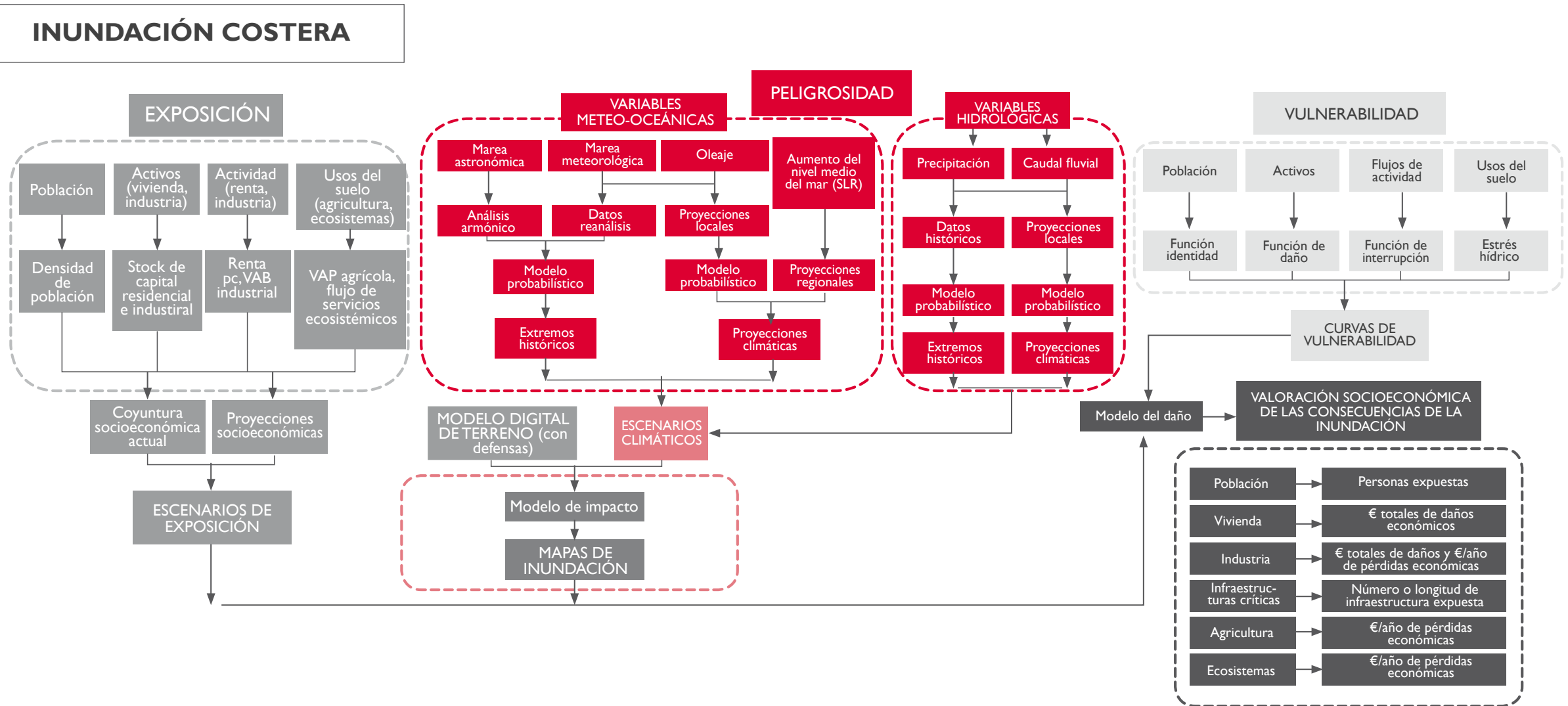


Figura 19.
Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la erosión costera.

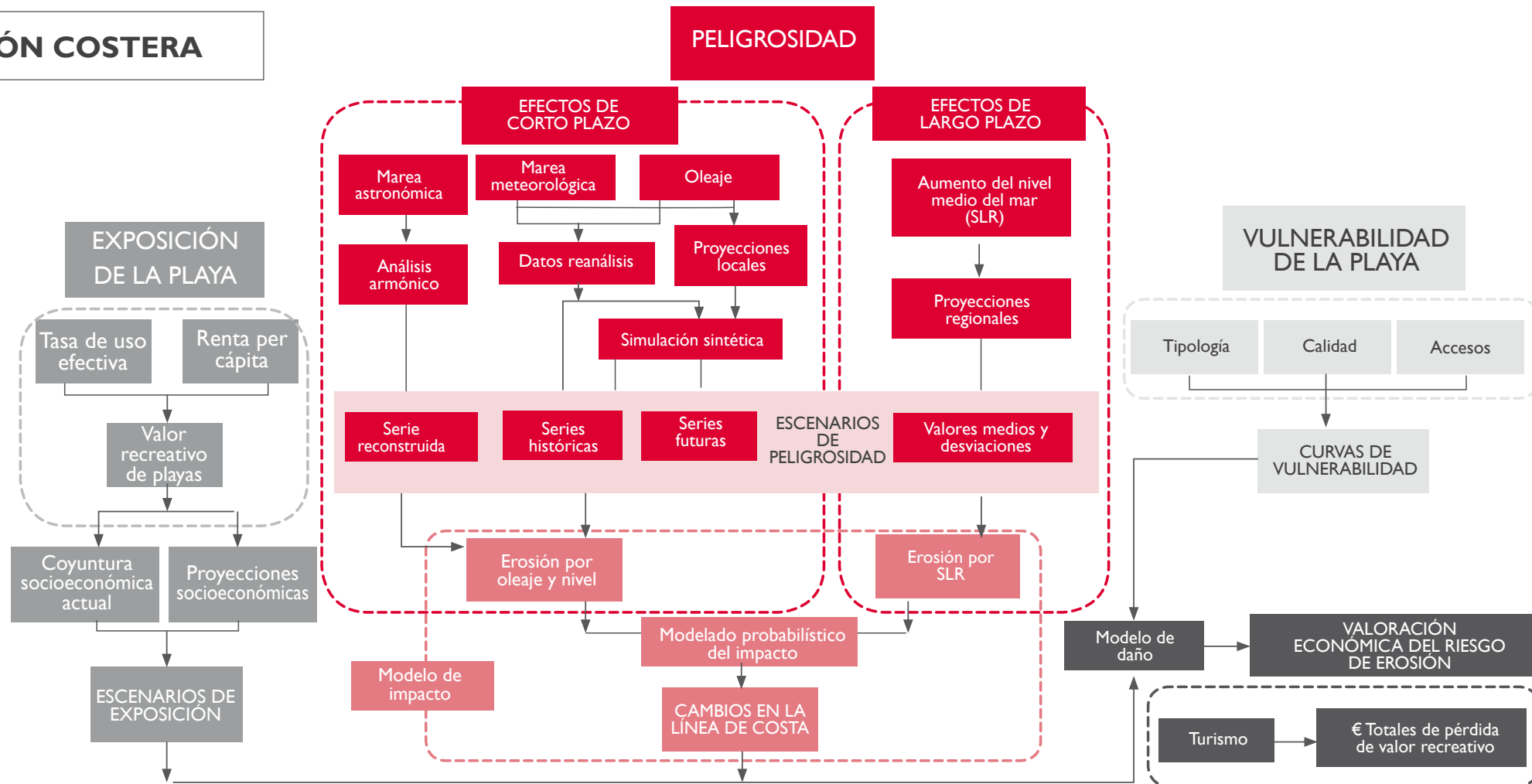
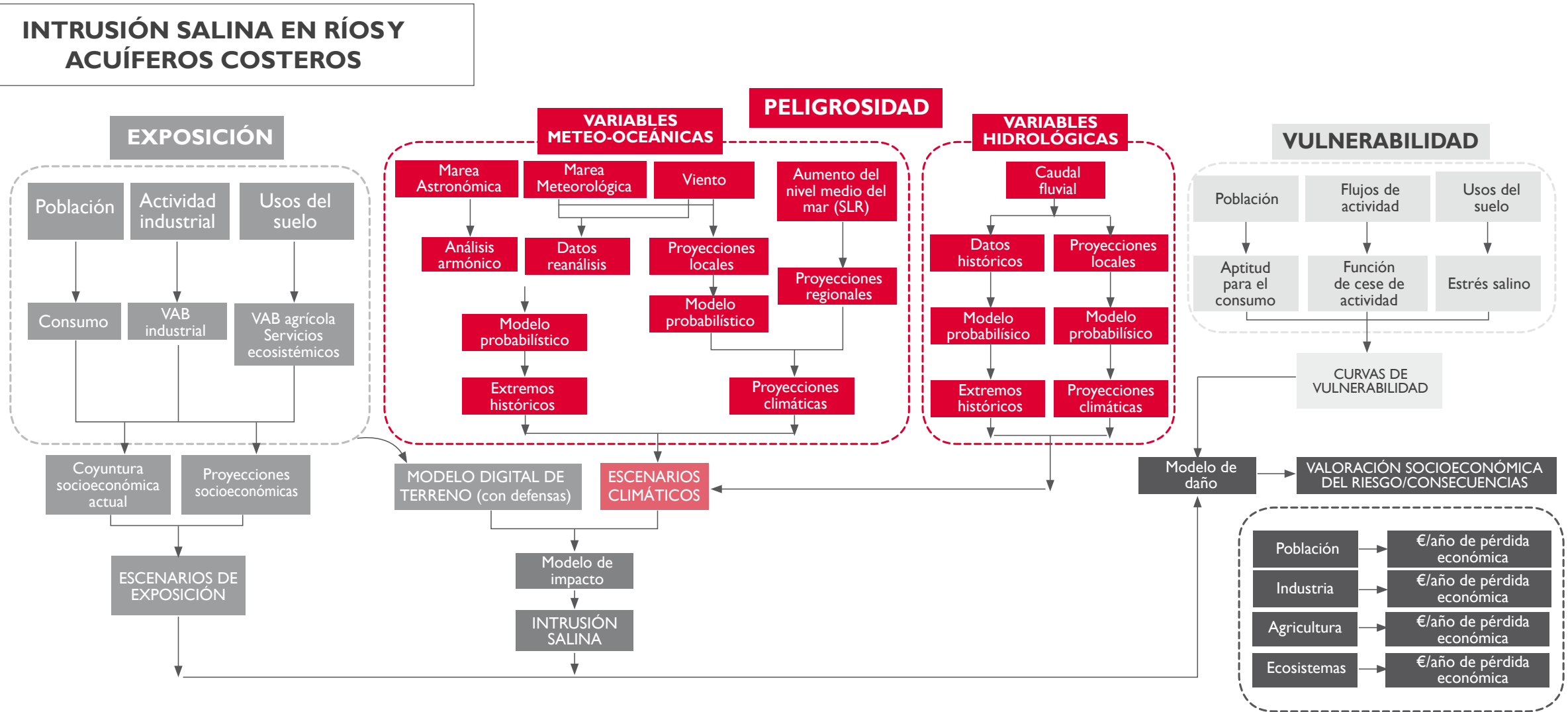


Figura 20.
Diagrama de flujo para el análisis de los riesgos derivados de la intrusión salina en ríos y acuíferos costeros.



Paso 2

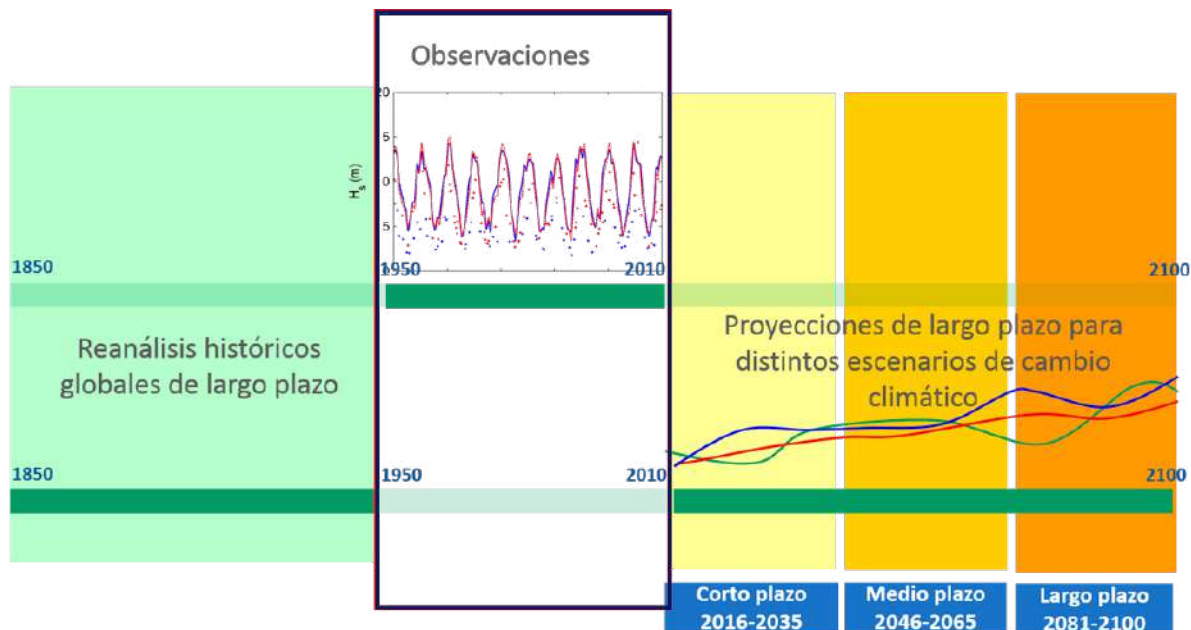
Caracterización de las amenazas-peligrosidad. Regionalización.

La caracterización de las amenazas en Nivel 3 implica el empleo de bases de datos de dinámicas históricas y proyecciones de variables atmosféricas y marinas relevantes de alta resolución espacial $O(<km)$, Anexo 5.

El análisis histórico de la peligrosidad puede realizarse empleando diversas fuentes de datos. Los datos instrumentales (de mareógrafo o satélite) son los más fiables, pero existen limitaciones en lo que respecta a su cobertura temporal y espacial. Por ello, los datos de hindcast o reanálisis, obtenidos de modelos numéricos son los más utilizados. Estos datos permiten disponer de series temporales continuas y largas con las que analizar la variabilidad interanual y la estadística de valores extremos, conocimientos esenciales para caracterizar el riesgo y elaborar estrategias de gestión.

Figura 21.

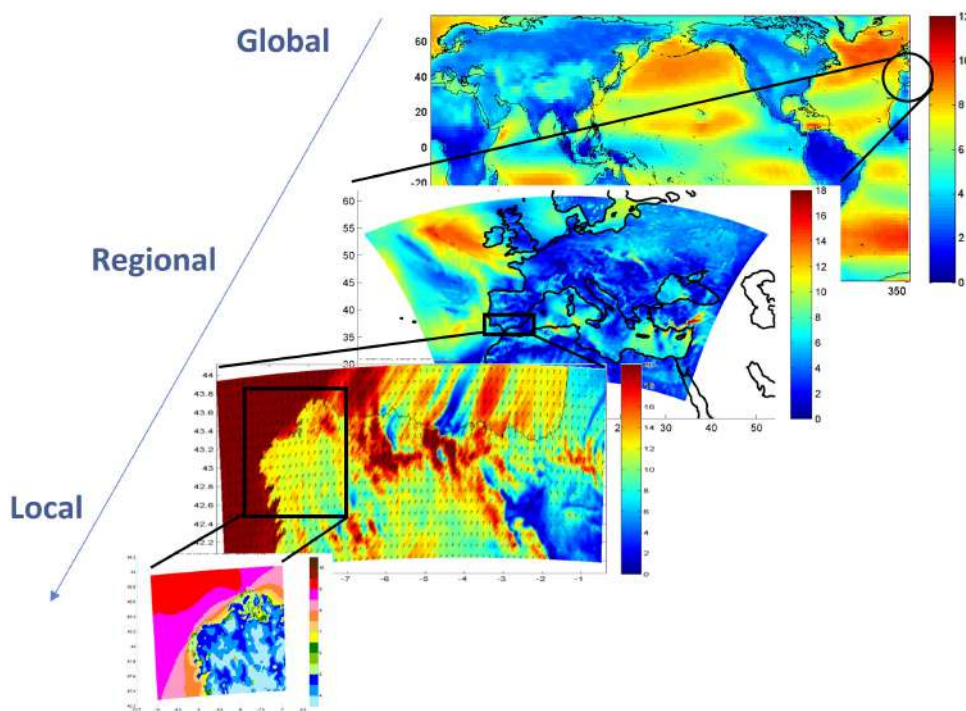
Tipos de datos empleados para caracterizar la peligrosidad en función del periodo u horizonte temporal objetivo.



El análisis futuro de la peligrosidad depende del año horizonte de interés. Para el corto plazo, el método más apropiado es la extrapolación de tendencias, mientras que, para el medio y largo plazo, se recomienda utilizar proyecciones. Para el estudio de impactos y riesgos de Nivel 3, estas proyecciones deben ser regionales o locales. La transferencia de información de escala global a escala regional o local suele realizarse mediante la aplicación de técnicas de regionalización o, del inglés, downscaling (Figura 22) basadas en métodos dinámicos o estadísticos. Los métodos dinámicos consisten en aumentar la resolución espacial de los modelos y los métodos estadísticos. Hay diversos pros y contras que deben ser considerados a la hora de usar una u otra técnica. En general, cuando se dispone de datos atmosféricos, el downscaling estadístico puede ser considerado una buena alternativa, ya que es adecuado para obtener simulaciones a largo plazo con una elevada resolución espacial y utilizando un gran número de GCMs (del inglés, Global Circulation Models), lo que permite reducir la incertidumbre (Camus et al., 2014).

Figura 22.

Reducción de escala mediante la aplicación de técnicas de regionalización que permiten transferir información de la escala global a las escalas regional y local.



El downscaling dinámico es computacionalmente más costoso que el estadístico, pero puede aplicarse en localizaciones donde no se dispone de observaciones y permite obtener series temporales completas de las variables objetivo. Disponer de cambios en estadísticos o de series temporales condicionará la estrategia de modelado de impacto.

Tabla 34.

Tabla comparativa entre downscaling estadístico y dinámico.

DOWNSCALING ESTADÍSTICO	DOWNSCALING DINÁMICO
Fortalezas	
Eficiente computacionalmente.	Incluye explícitamente tanto los procesos físicos de gran escala como los de pequeña escala hasta la resolución del modelo.
Requiere valores mensuales o anuales de los GCMs.	La respuesta climática regional es consistente con los forzamientos globales.
Relaciona la salida de los GCMs directamente con las variables de impacto no simuladas por los GCMs.	Genera resultados coherentes espacial y temporalmente para diferentes variables.
Puede aplicarse a variables observadas.	Puede utilizarse en regiones en las que no existen observaciones.
Genera estimaciones locales.	
Puede utilizarse para generar un gran número de simulaciones para cuantificar incertidumbres.	
Debilidades	
Se basa en la hipótesis no verificable de que las relaciones estadísticas entre predictores y predictandos se mantiene estacionaria ante cambios futuros.	Asume que los esquemas de parametrización “subgrid” se mantienen inalterados ante cambio futuros.
Resultados sensibles a la selección de predictores y de la habilidad de los GCMs para simular dichos predictores.	Sensible a las condiciones iniciales de los GCMs.
Tiende a infraestimar la varianza temporal y suaviza los valores extremos.	Computacionalmente muy demandantes.
Requiere series temporales históricas largas.	Dificultad para generar múltiples escenarios o para realizar un análisis probabilístico.

Los escenarios de cambio climático son un aspecto fundamental en la evaluación de la peligrosidad derivada del cambio climático. El aumento de los gases de efecto invernadero (GEIs) en la atmósfera produce cambios en el sistema climático en una serie de escalas temporales que afectan al medio físico de la costa. Los cambios en las dinámicas climáticas, incluyendo el ANMM, se proyectan para diferentes escenarios. Estos escenarios son descripciones plausibles y a menudo simplificadas de un futuro verosímil basadas en un conjunto consistente y coherente, en este caso, de emisiones. Tal y como hemos visto en la Fase I de la Guía, en su 6° Informe, AR6, el IPCC presentó una nueva familia de escenarios en los que se integran trayectorias socioeconómicas compartidas y niveles de forzamiento radiativo, mostrados en la Tabla 5. Como ya se ha explicado, en su momento, estos escenarios han sido los utilizados por el CMIP6 para la obtención de los nuevos conjuntos de proyecciones climáticas disponibles.

Sin embargo, desde el punto de vista operativo y dadas implicaciones para la elaboración de un análisis de riesgos Nivel 3, estas nuevas proyecciones climáticas del AR6 presentan el problema de que aún no incluyen información sobre dinámicas marinas, salvo proyecciones de ANMM, ni cuentan con información de modelos regionalizados (RCM). Por tanto, hoy en día los estudios de riesgos del cambio climático en la costa, con alta resolución espacial, se siguen formulando con los modelos del CMIP5 y las variables de las dinámicas marinas que se derivan de los mismos. La Tabla 35 muestra la equivalencia de los SSPx-y del AR6 y las trayectorias representativas de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles (RCPs) del AR5.

Tabla 35.

Equivalencia entre las trayectorias y escenarios de los informes AR5 y AR6.

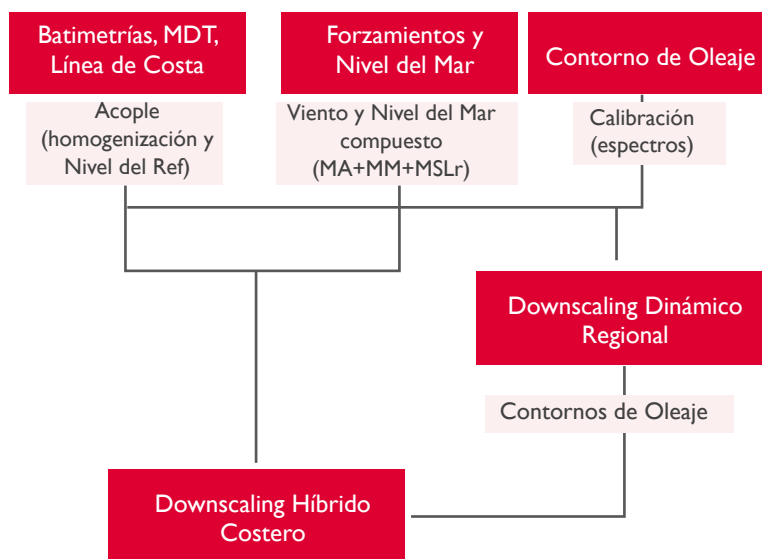
AR6	ESCENARIO RCP MÁS SEMEJANTE EN EL AR5
SSP1-1.9	No existe un RCP equivalente
SSP1-2.6	RCP2.6.
SSP2-4.5	RCP4.5 y hasta el 2050 el RCP6.0
SSP3-7.0	Escenario entre el RCP6.0 y el RCP8.5
SSP5-8.5	RCP8.5

El Anexo 5 incluye, entre otros elementos, la resolución espacial de la información disponible sobre información marina. Sea cual sea la variable, puede observarse que la resolución no es suficiente para abordar muchos de los impactos que se producen en la costa. Por ello, es necesario utilizar cualquiera de las técnicas expuestas en la Tabla 35, o sistemas híbridos, para obtener las resoluciones requeridas. Estas técnicas de modelado precisan un alto nivel de especialización, por lo que se debe contar con especialistas en oceanografía costera, atmósfera e ingeniería de costas en el equipo para poder desarrollarlas.

Mediante la metodología descrita en la Figura 23, se transforma la información de un hindcast numérico de oleaje de 25 km de resolución espacial en aguas profundas, en una base de datos de oleaje de 50 m de resolución espacial en la costa. La metodología utilizada para su aplicación en el desarrollo del análisis de riesgos Nivel 3 en la costa del Área Metropolitana de Lima Callao, combina información de batimetría, modelo digital del terreno y línea de costa, con información de viento, oleaje y nivel del mar, a través de la combinación de un downscaling dinámico y otro híbrido, haciendo uso del modelo SWAN (Simulating WAves Nearshore, Booij et al. 1999), un modelo de propagación del oleaje.

Figura 23.

Esquema metodológico empleado para generar las bases de oleaje regionalizadas para el estudio de riesgos de Nivel 3 de la costa del Área Metropolitana de Lima-Callao (IHCantabria, 2022)



Caracterización de las proyecciones del nivel del mar

Por su incidencia en el futuro de las costas, este Paso debe analizar con especial atención la selección de proyecciones de nivel del mar. Aunque esta sección se ha incluido únicamente en la sección dedicada a Nivel 3, muchas de las cuestiones aquí tratadas y recomendaciones son aplicables a la hora de considerar los cambios en el nivel del mar en la peligrosidad en los análisis de riesgos Nivel 1 y Nivel 2.

Las incertidumbres que rodean la magnitud y la cronología de los futuros cambios en el nivel del mar son profundas, lo que significa que generalmente se representan a través de escenarios en lugar de una distribución de probabilidad. Por tanto, cualquier evaluación de riesgos y de adaptación como los que se plantean en esta Guía deben generarse sobre la base de un conjunto adecuado de escenarios. Los escenarios son visiones plausibles pero alternativas de la evolución futura de sistemas complejos que o bien son intrínsecamente imprevisibles, por ejemplo, las emisiones futuras y la mitigación, o bien tienen grandes incertidumbres epistémicas, por ejemplo, la falta de conocimiento sobre la contribución futura de la capa de hielo al ANMM. Pueden aplicarse a nivel local, nacional, regional y mundial, pero la fiabilidad o las dificultades asociadas al desarrollo y la utilización de los escenarios siguen considerándose una limitación para la evaluación y la aplicación de los riesgos y la adaptación en las zonas costeras. Para responder plenamente a todas las necesidades de adaptación, el conjunto de escenarios utilizados en una evaluación tiene que muestrear el espacio "completo" de las incertidumbres, pues de lo contrario se corre el riesgo de una mala adaptación.

A falta de una distribución completa de la incertidumbre, los siguientes requisitos son fundamentales:

- La mejor estimación o los escenarios más probables de ANMM definidos a partir de la parte central de la distribución del nivel del mar - cada informe del IPCC ha presentado de una gama de posibles estimaciones de aumento adecuadas para esta necesidad. Generalmente, las proyecciones asociadas a estos escenarios se generan mediante modelos de base física. Es decir, para estimar la magnitud y la tasa de cambio del nivel del mar resultante del cambio climático, los modelos climáticos se fuerzan con estimaciones de futuras emisiones o concentraciones de GEI. Algunos componentes del ANMM, como la expansión térmica, son generados directamente por los modelos, mientras que otros, típicamente las contribuciones de la fusión del hielo se calculan externamente con datos de conducción provenientes del modelo climático.
- Escenarios de nivel del mar de gama alta (también conocidos como high-end, H++ o de baja probabilidad y alto impacto) que consideren la cola alta de la distribución, pero a los que no se puede asignar una probabilidad. Estos escenarios pueden construirse considerando múltiples líneas de evidencia, incluyendo observaciones, registros paleográficos, estudios de sensibilidad de modelos, estudios de escenarios de ANMM modelizados y la opinión de expertos. Por ejemplo, hay una cantidad considerable de literatura que sugiere que una rápida deglaciación en Groenlandia o la Antártida podría llevar a una ANMM global durante los próximos siglos del orden de varios metros, pero con una incertidumbre considerable. Aunque es muy preocupante, se cree que el colapso de la capa de hielo de la Antártida Occidental tiene una baja probabilidad de producirse durante el siglo XXI. Sin embargo, esto no significa que la probabilidad de que ocurra sea nula y, por tanto, debe ser considerada por los usuarios con aversión o baja tolerancia al riesgo. En el AR6, el IPCC ha presentado por primera vez escenarios de gama alta basados en simulaciones que incorporan la inestabilidad de acantilados de hielo marino y el juicio estructurado de expertos (Fox-Kemper et al., 2021).
- Seguimiento para comprender cuándo y cómo el mundo real se desvía del cambio simulado del nivel del mar.

Al considerar la mejora de las orientaciones sobre los escenarios de ANMM, este documento sostiene que la publicación de nuevos resultados (incluidos los datos del IPCC) no invalida automáticamente las evaluaciones anteriores de los riesgos costeros o las necesidades de adaptación. Más bien, las evaluaciones de riesgos deberían tener en cuenta una serie de escenarios de ANMM y reinterpretar las evaluaciones existentes a la luz de los nuevos escenarios de ANMM, en lugar de descartarlas. Nicholls et al. (2021) proporcionaron orientación sobre el desarrollo y el uso de escenarios de ANMM basándose en el AR5. Este documento lo actualiza y proporciona orientación sobre el desarrollo y empleo de escenarios ANMM con todas las componentes relevantes del ANMM, incluyendo cómo incorporar esta nueva información dentro de las evaluaciones de riesgo y adaptación. A diferencia de las orientaciones anteriores, se reconoce explícitamente que los escenarios de ANMM seguirán evolucionando.

Las evaluaciones de riesgos y la planificación de la adaptación pueden realizarse con diferentes niveles de detalle, desde análisis exploratorios (correspondientes al Nivel 1) hasta enfoques muy detallados (Nivel 2 o Nivel 3 en función de la resolución y de la disponibilidad de datos). La Tabla 36 resume cómo podrían desarrollarse los escenarios del ANMM con diferentes niveles de evaluación. Basándose en la experiencia, es probable que los escenarios del ANMM evolucionen desde una primera evaluación del alcance del problema hacia una comprensión cada vez más detallada de los riesgos y, en última instancia, hacia el diseño y la aplicación de medidas de adaptación adecuadas.

Tabla 36

Resumen de las componentes del nivel medio del mar frente a los niveles de evaluación de riesgos (adaptada de Nicholls et al., 2021). Abreviaturas: GIA, ajuste isostático glacial; GRD, gravitacional, rotacional y deformacional; SSP, trayectoria socioeconómica.

Componente de nivel del mar	Nivel de análisis del riesgo			
	Alta resolución (Nivel 3)	Intermedio (Nivel 2)	Exploratorio (Nivel 1)	
Cambio en el nivel medio del mar global (incluyendo fusión del hielo).	ΔNMM_{Global}	Utilizar como fuente principal proyecciones del AR6 del IPCC. Actualizar con las proyecciones incluidas en los nuevos informes. Considerar escenarios superiores al rango más probable (denominados high-end, H++ o de baja probabilidad y alto impacto).		
Cambio en el nivel medio del mar regional.	ΔNMM_{RDinam}	Incluir las desviaciones obtenidas con modelos individuales de las dinámicas marinas regionales (incluyendo el efecto medio de los cambios en la presión).	Escalar desviaciones locales o similar, a través de <i>pattern scaling</i> (metodología que asume que la respuesta de la componente dinámica del nivel del mar puede relacionarse con un modelo estadístico simple con los cambios en la temperatura media global)	Realizar un análisis de sensibilidad considerando $\pm 50\%$.
	NMM_{RGRD}	Utilizar las correcciones para considerar los efectos GRD (IPCC).	Escalar la huella con las series temporales proyectadas.	Asumir que no hay cambios.
Movimientos verticales del terreno $\Delta NMM_{RLMvertical}$	Por causas naturales	Utilizar el nivel intermedio añadiendo observaciones locales (p.ej., GPS), información derivada de las tendencias en series temporales largas de mareógrafos o de estudios geológicos específicos.	Obtener patrones regionales de los movimientos del terreno a partir de información geológica (p.ej., sismos) o estimaciones de modelos GIA.	Asumir que no hay cambios excepto en deltas considerando una subsidencia de 1 o 2 mm/año salvo que se tenga información de observaciones.
	Por causas inducida por el hombre	Utilizar el nivel intermedio más un análisis de la potencial subsidencia y de sus causas (p.ej., extracción de agua o gas del subsuelo).	Analizar los cambios a partir de la configuración geológica, especialmente en deltas y en asentamientos urbanos que sufren subsidencia.	Asumir que no hay cambios con respecto a la anterior salvo en grandes asentamientos urbanos en deltas en los que se puede aplicar valores de referencia (p.ej., 10 mm/año) salvo que se tenga información de observaciones.
Cambios en las contribuciones al nivel del mar extremo de oleaje, marea meteorológica y/o marea astronómica.	ΔNME	Modelado utilizando modelos locales o regionales aplicando regionalización dinámica o estadística a partir de modelos regionales de las dinámicas marinas o climáticas.	Análisis de sensibilidad. Pej., sin cambios en los estadísticos de las series históricas o asumiendo incrementos arbitrarios (p.ej., 10% en el nivel extremo de 100 años de periodo de retorno).	Asumir que no se producen cambios con respecto a la información histórica.
Vinculación con escenarios socioeconómicos.		Regionalización de los escenarios globales (SSP) o de datos locales relevantes para el análisis de riesgo	Aplicación de los SSP a la información socioeconómica existente considerando su efecto con criterio experto. Si se cuenta con la información necesaria, regionalización de los escenarios globales (SSP) o de datos locales relevantes para el análisis de riesgo	

Tal y como muestra la Tabla 36, el futuro cambio del nivel del mar en cualquier lugar comprende componentes de la ANMM media global, combinados con contribuciones regionales y locales de la ANMM. También hay que tener en cuenta los componentes extremos del nivel del mar (marea astronómica, marea meteorológica y oleaje) para captar toda la gama de posibilidades para los estudios de riesgo y adaptación. Las estimaciones a escala regional suelen ser más inciertas que las medias globales. Además, algunas componentes son menos conocidas que otras. Por ejemplo, el papel de la contribución dinámica de las olas (un factor importante en muchas costas abiertas) a menudo se ignora o se simplifica en gran medida debido a los limitados datos de observación y a que los modelos son demasiado costosos desde el punto de vista computacional para aplicarlos a las condiciones actuales o futuras.

Para estimar la media temporal del cambio relativo del nivel del mar en lugares específicos, es necesario considerar las contribuciones de las componentes a escala global, regional y local. Para una localización determinada, estas componentes pueden integrarse mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta NMMR = \Delta NMM_{Global} + \Delta NMM_{RDinam} + \Delta NMM_{RGRD} + \Delta NMM_{RLMvertical}$$

ΔNMM_{Global} es el cambio en el nivel medio del mar global y es el resultado del cambio en el volumen global del océano. En el siglo XXI, se espera que esto se deba principalmente a (i) la expansión térmica del océano a medida que se calienta y (ii) al cambio del nivel del mar, que incluye la pérdida de masa de los glaciares y casquetes de hielo, y las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida. Otros procesos, como las modificaciones humanas del ciclo hidrológico, suele considerarse como contribuciones menores, aunque esto debería revisarse a medida que se desarrollan los conocimientos.

ΔNMM_{RDinam} corresponde a los cambios inducidos por la dinámica del océano e incluye diferencias en las tasas de expansión térmica oceánica, cambios en el viento y la presión atmosférica a largo plazo y cambios en la circulación oceánica. Estos factores provocan desviaciones regionales de hasta el 50-100% del cambio medio global para la componente de expansión térmica del cambio del nivel del mar. Los rasgos regionales distintivos en el océano austral y en el Atlántico norte se asocian con el aumento de las emisiones de GEI a través de los cambios en la tensión tangencial del viento y el flujo de calor superficial.

ΔNMM_{RGRD} responde a los cambios gravitacionales, rotacionales y de deformación, que son impulsados por la redistribución de la masa entre el océano y Groenlandia, la Antártida, los glaciares o los depósitos de agua terrestres. Esto da lugar a una firma regional distintiva con un descenso del nivel del mar cerca de la fuente de pérdida de masa y un ANMM superior a la media (hasta el 120-130%) en el campo lejano. Estas "huellas" gravitacionales se han utilizado para elaborar escenarios regionales de cambio del nivel del mar como en el AR5, otros escenarios regionales y evaluaciones nacionales.

$\Delta NMM_{RLMvertical}$ es el movimiento vertical del terreno (levantamiento y hundimiento) y está causado por varios procesos geológicos naturales e inducidos por el hombre. Las causas naturales incluyen (i) la neotectónica, (ii) el ajuste glacio-isostático (GIA), (iii) la tectónica y (iv) la compactación/consolidación de sedimentos. Además, la actividad humana puede influir en las tasas de subsidencia en las tierras bajas

costeras y en los deltas mediante la recuperación de tierras y la extracción de fluidos, como la disminución de los niveles freáticos a través de la extracción de aguas subterráneas, el aumento del drenaje o la extracción de petróleo y gas. Estos procesos potenciados por el hombre suelen estar localizados en los depósitos de la era del Holoceno y del Pleistoceno y pueden superar localmente la magnitud de los

cambios del nivel relativo del mar (NRM) previstos debido al cambio climático hasta el siglo XXI.

ΔNME es el cambio total de las componentes regionales del nivel del mar extremo (excluyendo el NRM). Estas componentes son la contribución del oleaje, normalmente expresado como set-up o run-up, la marea meteorológica y la marea astronómica.

Van de Wal et al. (2022) presentaron un enfoque para los escenarios de gama alta sustentado en diferentes hipótesis sobre la correlación entre las distintas componentes del ANMM. Esta aproximación se basa en una evaluación experta de evidencias físicas y ofrece un resultado distinto pero complementario al del AR6 del IPCC (Fox-Kemper et al., 2021). Los autores hacen hincapié en la importancia del momento en que se producirá el colapso de la plataforma de hielo alrededor de la Antártida, así como en la forma en la que los profesionales utilizan las proyecciones de alta gama para realizar evaluaciones de riesgo.

El método de van de Wal et al. (2022) proporciona estimaciones del extremo superior del cambio previsto del nivel global del mar y no incluye el amplio rango de procesos que contribuyen a las variaciones regionales del nivel del mar, ni considera el movimiento vertical regional y local de la tierra, necesario para determinar los cambios relativos del nivel del mar en una ubicación costera concreta, y que conducen a cambios en la frecuencia y magnitud de los fenómenos extremos del nivel del mar en todas las escalas temporales. Los autores asumen que los términos globales contribuyen significativamente a la incertidumbre en la SLR local en la mayoría de los lugares, pero la incertidumbre de los términos varía en importancia según el lugar.

La Tabla 37 ilustra los procesos críticos necesarios para la estimación de las componentes criosféricas de ANMM por horizonte temporal (2100 y 2300) y escenario de temperatura (temperatura baja y alta correspondientes a +2°C y +5°C, respectivamente, en 2100) de acuerdo con una muestra de estudios publicados. Estas componentes son las siguientes:

Componente de glaciares. Las variaciones de temperatura son fundamentales para calcular los cambios de volumen de los glaciares. Debido a la distribución espacial de los glaciares en la superficie terrestre y a un fuerte sesgo hacia las latitudes árticas, los glaciares experimentan aproximadamente el doble de anomalías de temperatura que la media mundial. Otros procesos que pueden desempeñar un papel están relacionados con la cubierta de escombros y la interacción hielo-océano.

Componente de Groenlandia. Actualmente, se observa una pérdida sustancial de masa de hielo en Groenlandia con una tasa durante el período 2010-2019 equivalente a 0,7 mm/año de aumento del nivel medio global del mar. Esto se debe en gran medida a un cambio en el balance de masa superficial, pero también a una mayor pérdida dinámica de hielo a través de los glaciares de salida que terminan en el mar.

Componente de Antártida. Actualmente se observa una pérdida significativa de masa de hielo en la Antártida Occidental: durante el periodo 2010-2019, la Antártida contribuyó con 0,4 mm/año al ANMM. La mayoría de los estudios indican que la pérdida de hielo en la Antártida Occidental es consecuencia del aumento de las tasas de fusión de la plataforma sub-hielo causada por los cambios en la circulación oceánica, pero se cuestiona si esto es el resultado del cambio climático antropogénico o de la variabilidad natural del océano, o por una combinación de ambos procesos.

Tabla 37

Resumen de los procesos críticos para la estimación de las componentes criosféricas del aumento del nivel del mar por escala temporal y escenario (adaptada de van de Wal et al., 2022). Abreviaturas: SMB, balance de masa superficial; BMB, balance de fusión basal; MISI, inestabilidad de la capa de hielo marino; MICI, inestabilidad del acantilado de hielo marino.

	2100 - temperatura baja	2100 - temperatura alta	2300 – temperatura baja	2300 – temperatura alta
Glaciares	Aumento de la temperatura	Aumento de la temperatura	Aumento de la temperatura, equilibrio de la masa glaciar	Aumento de la temperatura, cantidad de hielo glaciar
Groenlandia	Aumento de la temperatura, aceleración de salida del glaciar	Aumento de la temperatura, retroalimentación del albedo, cambios en la circulación atmosférica	Aumento de la temperatura	Aumento de la temperatura, retroalimentación del albedo, cambios en la circulación atmosférica, puntos de inflexión
Antártida	SMB, BMB, cambio en el flujo bajo plataformas	SMB, colapso de la plataforma, BMB, desprendimientos, hidrofracturación	SMB, colapso de la plataforma, BMB, desprendimientos, hidrofracturación	MISI, MICI, deslizamiento basal

La suma lineal de todas las componentes de gama alta implica una dependencia perfecta entre ellas, lo cual es poco probable. Por ejemplo, implicaría que el aumento del deshielo basal en la Antártida está perfectamente correlacionado con las condiciones atmosféricas específicas que rodean la capa de hielo de Groenlandia. Alternativamente, los usuarios menos tolerantes al riesgo podrían suponer que todos los componentes son independientes entre sí, lo que tampoco es muy probable. Esto también implica que los usuarios menos tolerantes al riesgo, o que tengan la capacidad de aumentar la resiliencia de forma iterativa, pueden decidir considerar los valores medios de todas las componentes de una evaluación del IPCC y añadir la contribución de gama alta de la Antártida y Groenlandia para desarrollar una estimación de gama alta adaptada, pero transparente. De este modo, las componentes de gama alta y la mejor manera de sumarlas fomentan el debate entre científicos y profesionales del nivel del mar y la coproducción de los escenarios de SLR más adecuados para las necesidades respectivas, incluido el desarrollo de líneas argumentales. Para un enfoque más fácilmente accesible,

y dado que, tanto la correlación perfecta como la independencia total de todos los componentes, parecen improbables según los conocimientos actuales, los especialistas podrían simplemente promediar las proyecciones estimadas del extremo superior de este documento entre los dos para obtener una única proyección del extremo superior para su uso en la planificación, si esto es más útil que un rango.

Cuadro 8.

Contribución: “Generación de proyecciones oceánicas bajo escenarios de CC para el fortalecimiento de la acción climática en los mares y océanos de Ecuador”.

CONTRIBUCIÓN:

“Generación de proyecciones oceánicas futuras bajo escenarios de CC para el fortalecimiento de la acción climática en los mares y océanos de Ecuador”.

Rosa Ana González, Nicolás Zambrano, Pablo Caza.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Ecuador.

I. Introducción

La transversalidad de los impactos y riesgo del cambio climático ha despertado el interés de contar con instrumentos y herramientas que permitan incluir la adaptación al cambio climático como una variable clave del desarrollo en las políticas públicas del Ecuador y en los sectores priorizados en su Estrategia Nacional de Cambio Climático. El país no solo cuenta con una gran biodiversidad en su territorio continental sino también en sus 200 millas náuticas de franja marítima de la cual dependen la mayoría de las comunidades costeras vulnerables ante el cambio climático. Ecuador no presentaba proyecciones de variables oceánicas bajo

escenarios de cambio climático para la zona marina continental ecuatoriana e islas Galápagos. Este caso de estudio delinea las bases físicas y biogeoquímicas oceánicas observadas y bajo escenarios futuros de cambio climático, su potencial uso para el análisis de cota de inundación, y las oportunidades de gobernanza y políticas públicas que esta información proveería. Se observa que los sistemas expuestos a mayor riesgo al cambio climático se encuentran en playas de anidaje de tortugas marinas, manglares, arrecifes coralinos, y actividades de pesquería, lo que habilita una oportunidad para promover políticas que aborden conjuntamente presiones antrópicas y efectos adversos del cambio climático.

2. Bases físicas y biogeoquímicas históricas y futuras del Ecuador

El espacio marítimo ecuatoriano se encuentra conformado por alrededor de 1'092.140,25 km² de los cuales 210.000 km² se encuentran bajo algún tipo de mecanismos de conservación (SNIAS, 2022). La superficie marina del Ecuador se caracteriza por una alta biodiversidad la cual esta influenciada por un sistema de corrientes, contracorrientes y afloramientos superficiales que son encargados de propiciar la distribución de nutrientes a lo largo del territorio marítimo ecuatoriano (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2020). Aproximadamente, 1,071.645 de personas habitan en la franja marino-costera y donde los sectores relacionados con la pesca y la acuicultura y otras actividades asociadas, han representado para el país en 2021 el 1,07% del PIB total (CFN, 2022; STPE, 2020; Cevallos, H. y González, M, 2017).

Ecuador¹¹ generó bases actualizadas de las variables oceánicas que permitan caracterizar los cambios históricos y futuros bajo condiciones de cambio climático (Ver Tabla 1) para la zona entre 70°W-100°W de latitud y 10°N-20°S de longitud. Por un lado, se tomaron como variables físicas la Temperatura Superficial del Mar (TSM), el Nivel Medio del Mar (NMM), y el oleaje. Por otro lado, las variables biogeoquímicas analizadas fueron Potencial de Hidrógeno (pH) y el Oxígeno Disuelto (Od). Para ello, se analizó información observada bajo distintos periodos históricos de 20 a 30 años que permitan conocer el comportamiento de las variables. A su vez, se utilizaron información de modelos de circulación global (GCM por sus siglas en inglés) bajo dos escenarios de cambio climático que producirían forzamiento radiativo de 4.5 W/m² y 8.5 W/m², para dos periodos futuros de 30 años.

Tabla A.

Variables físicas y biogeoquímicas oceánicas analizadas. Se presentan los valores históricos correspondientes a cada variable en función de la disponibilidad de información. Las proyecciones se generaron a través de distinto número de GCM que disponían información para cada variable tanto para el Coupled Model Intercomparison Project en sus versiones CMIP5 y CMIP6. Los valores futuros representan la mediana de los datos (percentil 50). Alta concordancia entre el ~99% de GCM se representa como ***. Baja concordancia entre el ~50% GCM se representa como *.

Variable	Periodo histórico	2021-2050		2051-2080	
		SSP2-4.5	SSP2-8.5	SSP2-4.5	SSP5-8.5
TSM***	0.1°C (1996-2020)	0.91°C	1.05°C	1.56°C	2.31°C
NMM***	54mm (1993-2010)	+150mm	+150mm	+320mm	+360mm
pH***	0.0045 unidades (1993-2019)	-0.059 unidades	-0.063 unidades	-0.123 unidades	-0.173 unidades
Od*	-3429 µmol/m3 (1992-2019)	-240 µmol/m3	-100 µmol/m3	-630 µmol/m3	-370 µmol/m3

11. El Gobierno del Ecuador con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo generaron en el marco de la Cuarta Comunicación Nacional y el Proyecto Plan Nacional de Adaptación, información relevante para este análisis.

2.1 Variables físicas

La TSM presenta un aumento mínimo durante el periodo histórico que se encuentra influenciado por las corrientes de Humboldt hacia la zona continental del Ecuador; así como de la corriente subsuperficial de Cromwell hacia la zona de las Islas Galápagos (Ruiz y Wolff, 2011). Sin embargo, durante las próximas décadas se observa que existirá un aumento considerable de temperatura bajo todos los escenarios (Tabla 1). Se observa que el NMM ha aumentado durante el periodo histórico a una tasa de 3,2 mm/año. Sin embargo, esta tasa se aceleraría bajo escenarios de cambio climático futuros, llegando a triplicarse o sextuplicarse en el corto y mediano plazo respectivamente. Los GCM presentan alta concordancia para ambas variables físicas bajo condiciones de cambio climático.

Adicionalmente, se analizó la transferencia del oleaje en puertos específicos con la finalidad de interpretar cambios históricos en los patrones de altura significativa (ΔH_s), periodo medios (ΔT_m) y direcciones medias del oleaje. Se observa que no existen cambios significativos en el océano abierto durante el periodo histórico. Por otro lado, los cambios hacia 2026-2045 en ΔH_s serían despreciables pero en ΔT_m en torno a +3 s. A su vez, hacia 2081-2100 el cambio se prevé de +0.4 m en ΔH_s y +0.5s en ΔT_m .

2.2 Variables biogeoquímicas

El Potencial de Hidrógeno (pH) muestra una clara tendencia de acidificación del océano (Ver Tabla 1). A su vez, se observa que la zona superficial de 0 a 100 m hacia el lado continental presenta mayor acidificación que hacia las Islas Galápagos en el futuro. Existe gran concordancia entre los GCM utilizados respecto a la proyección de acidificación oceánica. Por otro lado, el O_d se observa que históricamente se ha reducido en toda el área analizada. Bajo efectos del cambio climático en el futuro continúa una tendencia de reducción. Sin embargo, los GCM no son congruentes con esta reducción, alrededor del 50% de los modelos indican que existirá un aumento, lo cual dependería de las parametrizaciones del modelo para la zona de surgencia ecuatorial (Cabré et al., 2015)

3. Aproximación a impactos costeros

Considerando la importancia que las actividades pesqueras, acuícolas y el turismo representan para la economía del Ecuador, se definieron sitios pilotos para la aplicación de un análisis de Cota de Inundación en base a los resultados de Proyecciones

Oceánicas (oleaje y NMM). Debido a la diversidad de actividades económicas e infraestructuras de gran envergadura que se establecen en los asentamientos costeros de Manta, La Libertad y Esmeraldas; se consideraron a estos lugares como propicios los mismos para la aplicación del mencionado análisis.

Los resultados de las Proyecciones Oceánicas sirvieron como base para la aplicación del análisis de la Cota de Inundación para 3 sitios pilotos, para este fin se definió un modelo aditivo lineal en el cual se determinó matemáticamente la cota de inundación respecto del nivel de referencia altimétrico de la siguiente forma:

$$TWL_{NRS} = R + \eta_{ss} + \eta_a + SLR$$

Donde:

R : Run-up del oleaje

η_{ss} : Marea meteorológica

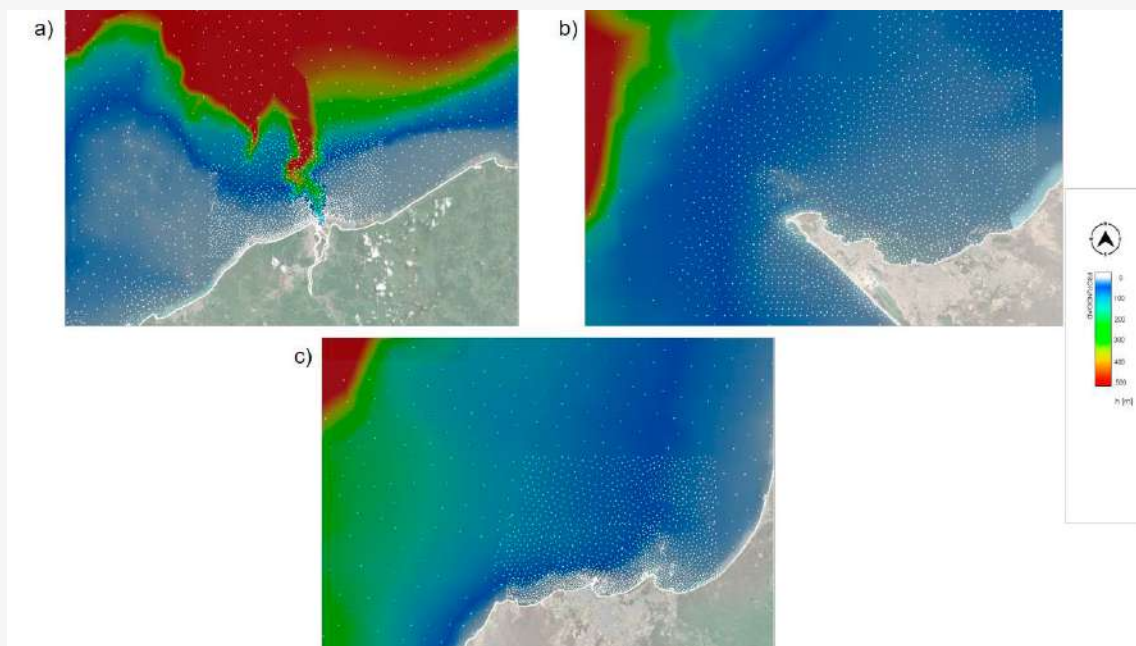
η_a : Marea astronómica

SLR : Aumento del nivel medio del mar por cambio climático.

Los datos de NMM se combinaron con los de oleaje local obtenido a partir de la propagación del oleaje en aguas profundas al sitio de interés. La batimetría utilizada para modelar el oleaje costero en Esmeraldas, Manta y La Libertad se presenta en el Gráfico I, respectivamente, los mismos fueron provistos por el Instituto Oceanográfico Y Antártico de la Armada (INOCAR).

Gráfico I.

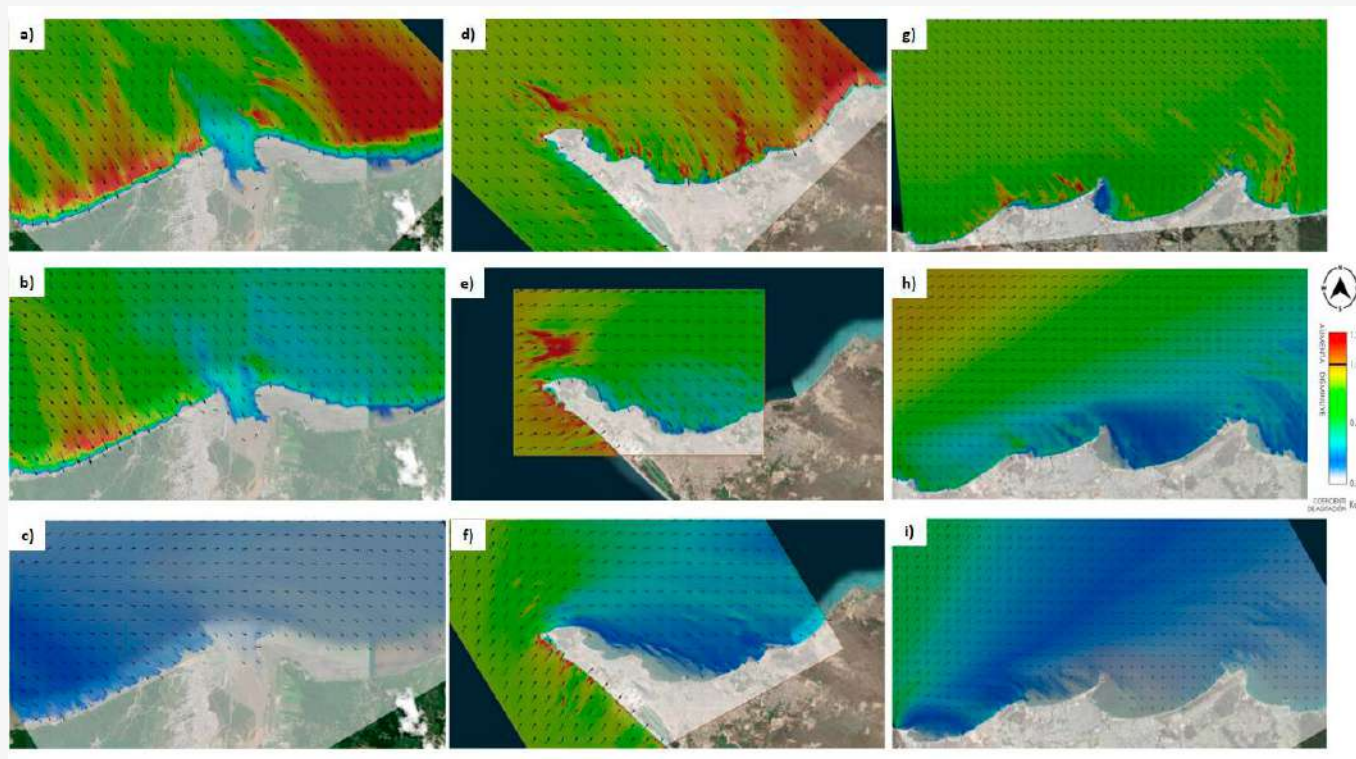
Batimetría utilizada para modelar el oleaje costero. a) Esmeraldas, b) La Libertad y c) Manta. Los puntos blancos corresponden a sondajes. El fondo de color corresponde al modelo de elevación digital interpolado.



Los campos de oleaje medio con direcciones en aguas profundas del NW,W y SW y un período medio de $T_m = 12$ s se presentan para Esmeraldas, La Libertad y Manta en el Gráfico 2, respectivamente.

Gráfico 2.

Batimetría utilizada para modelar el oleaje costero. Esmeraldas, La Libertad y Manta para direcciones NW (a, d, g), W (b, e, h) y SW (c, f, i) para un período medio de 12 s. Se ilustran los coeficientes de agitación y la dirección en vectores negros.



Finalmente, se observa de esta última, que los cambios en la cota de inundación serán casi irrelevantes para medio siglo (2026-2045) pero sí notorios a fin de siglo (2081-2100). Por ejemplo, considerando el escenario pesimista (paneles centrales del Gráfico 3) una cota de inundación de $TWL = 2$ m, cuyo período de retorno era de ~ 100 años para el período histórico (1985-2005), tendría un período de retorno de ~ 1 año a fines de siglo (2081-2100), es decir, incrementaría en aproximadamente 100 veces su frecuencia. Otra

interpretación equivalente es, por ejemplo, que la cota de inundación asociada a un período de retorno de 100 años se incrementaría de $TWL = 2$ m a $TWL = 3$ m entre el período histórico y fines de siglo. Puesto que los cambios en el oleaje son menores para ambos horizontes, el incremento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones costeras se atribuye principalmente al aumento del NMM. Similares resultados se obtienen para Esmeraldas y Manta, tal como se aprecia en el Gráfico 4 y Gráfico 5, respectivamente.

Gráfico 2.

Cota de inundación en función del período de retorno. Sector La Libertad para el período histórico (columna izquierda) y cambios para medio siglo (columna izquierda) y fin de siglo (columna derecha) para el escenario más probable (fila superior), escenario pesimista (fila central) y escenario optimista (fila inferior).

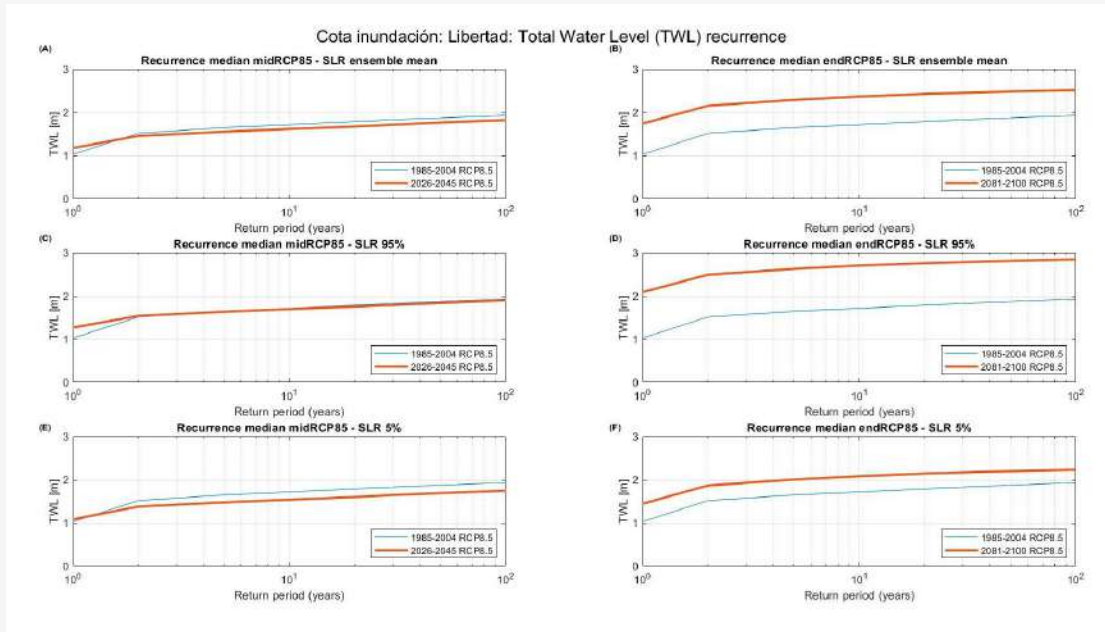


Gráfico 3.

Cota de inundación en función del período de retorno. Sector de Esmeraldas para el período histórico (columna izquierda) y cambios para medio siglo (columna izquierda) y fin de siglo (columna derecha) para el escenario más probable (fila superior), escenario pesimista (fila central) y escenario optimista (fila inferior).

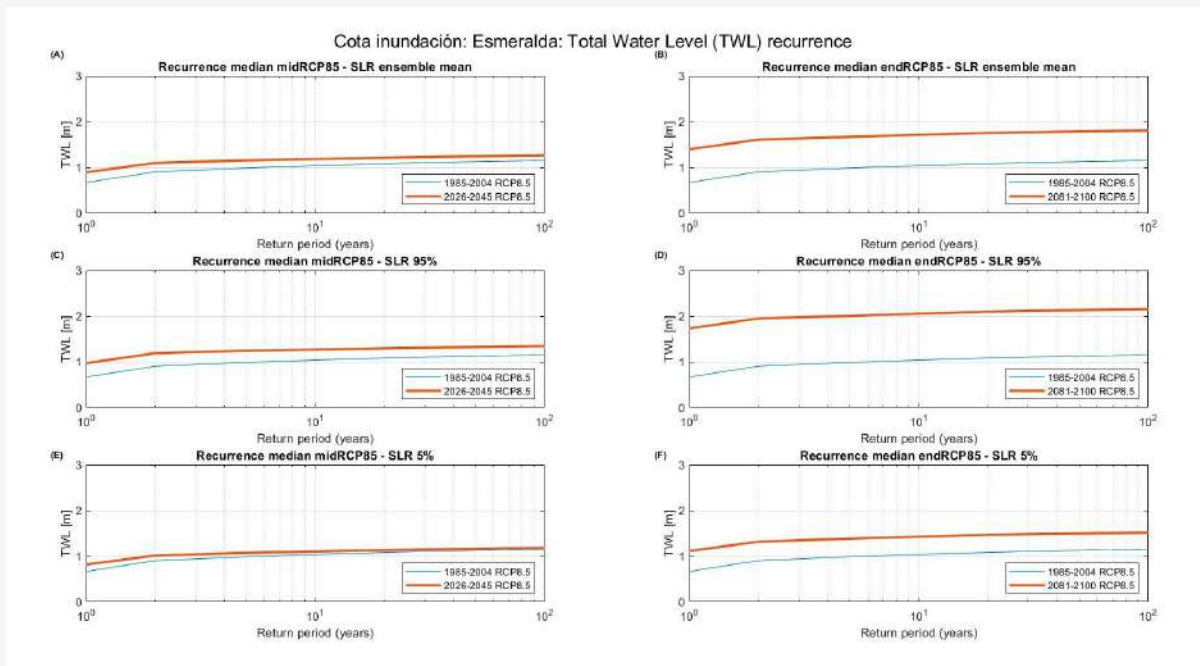
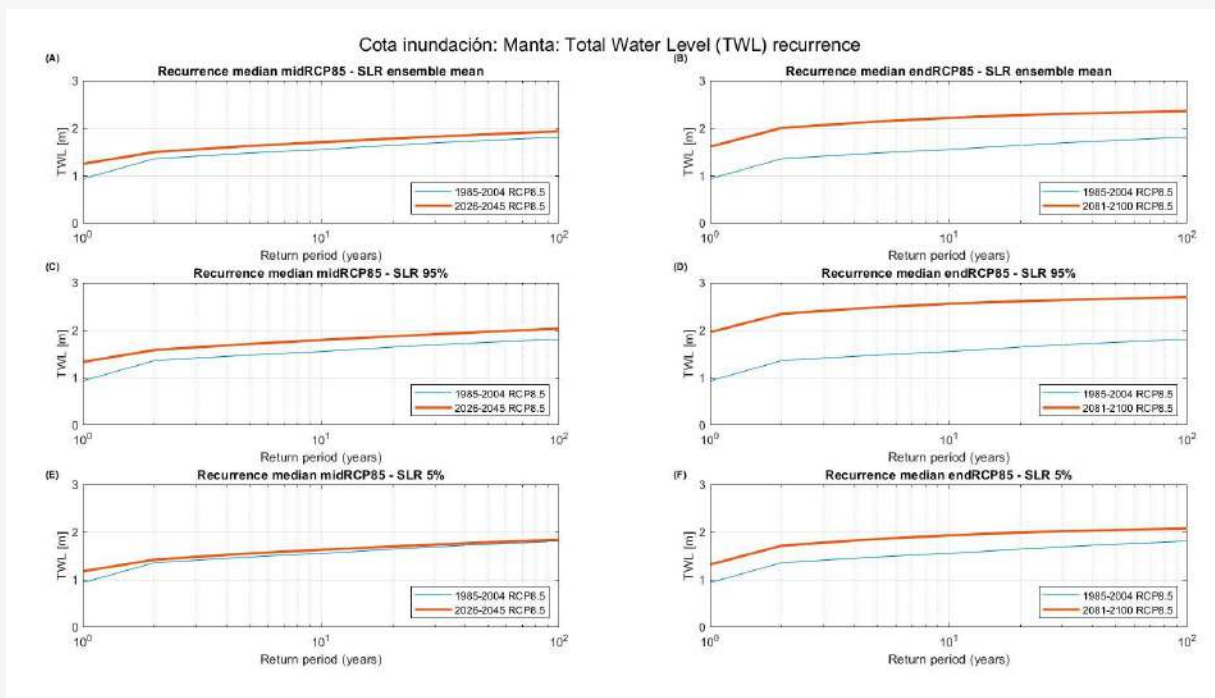


Gráfico 4.

Cota de inundación en función del período de retorno. Sector de Manta para el período histórico (columna izquierda) y cambios para medio siglo (columna izquierda) y fin de siglo (columna derecha) para el escenario más probable (fila superior), escenario pesimista (fila central) y escenario optimista (fila inferior).



4.Oportunidades de gobernanza y política pública

La zona marino-costera del Ecuador es un área estratégica en la dinámica del país, esto radica principalmente en las actividades socio económicas y ambientales que se derivan de su gestión. Para lo cual, el Estado ha establecido directrices a través de su principal instrumento de planificación el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y su Estrategia Territorial Nacional (ETN) que conducen a su gestión integral.

El PND contempla para esta zona en específico, objetivos para la conservación, restauración, protección y uso sostenible de los recursos naturales que incluyen políticas y lineamientos que promueven la gestión integrada y

articulada del espacio marino costero considerando las particularidades y componentes estratégicos que representan estos territorios en el escenario nacional; así como, el desarrollo de planes para enfrentar los efectos de las variaciones ocasionadas por el cambio climático tanto en el nivel medio del mar.

Por su parte el Reglamento del Código Orgánico Ambiental (RCOA), en su Art 733 establece que los instrumentos de planificación del espacio marino costero incluyen: Políticas Nacionales Oceánicas y Costeras, Políticas Ambientales Nacionales, Plan de Ordenamiento del Espacio Marino Costero, Agenda Intersectorial del Mar, Plan de Manejo Costero Integrado, y, otros instrumentos territoriales específicos para la gestión marino-costera.

Dichos instrumentos son de carácter vinculante para la planificación sectorial y local con jurisdicción en áreas marino-costeras, y deben estar articulados con el PND y la Estrategia Territorial Nacional (MAE, 2019).

Todos los instrumentos mencionados en el RCOA se formulan con base en información técnica especializada que asegura que las políticas, líneas de acción, lineamientos, y herramientas planteadas dentro de su alcance, guarden una estrecha relación con la realidad local. Es así como, la información proporcionada por las proyecciones oceánicas es una oportunidad para la actualización de estos instrumentos, pues contribuye a potenciar la planificación de la zona marino-costera en la definición de riesgos costeros, en la infraestructura costera, los medios de vida naturales y de las comunidades, la

agricultura y la habitabilidad, considerando la variable de cambio climático.

Un ejemplo de la utilidad de las proyecciones climáticas del Ecuador en instrumentos de gestión, es su uso para la definición del riesgo climático en el Plan de Manejo de la Reserva Marina Isla Santa Clara 2022, ubicada en el sur-oeste del Ecuador. En este Plan se determinó que el aumento de la TSM, constituye la principal amenaza climática para la reserva y se establecen medidas inmediatas y a mediano plazo para incrementar la resiliencia y capacidad adaptativa de las especies y los ecosistemas que podrían verse afectados, asegurando su conservación en el tiempo.

5. Conclusión

Los ecosistemas del mar y actividades productivas que de estos dependen, tienen riesgo de verse severamente afectados en el corto plazo fundamentalmente por cambios en la TSM y pH. A su vez, infraestructura que se encuentre en zonas costeras requerirá atender el riesgo al aumento del NMM. Se requiere analizar el riesgo que el cambio climático atraería producto de los cambios futuros que en conjunto la TSM, NMM, oleaje, pH y Od generarían.

El análisis de cota de inundación presenta una aproximación trascendental para analizar el riesgo climático en la infraestructura productiva, ecosistemas marino-costeros y asentamientos humanos. Del análisis se observa que podrían existir graves impactos a final del siglo en los tres sitios de análisis y se recomienda replicar este análisis a lo largo de la línea costera. Es necesario complementar la información con un

levantamiento topográfico y batimétrico a mayor escala, y analizar las áreas que podrían presentar mayor exposición a los cambios en variables oceánicas.

El período futuro hacia 2050 tiene gran relevancia para la toma de decisiones, generación de políticas públicas y gobernanza. Análisis de riesgo climático con modelación biofísica que analice sistemas socioeconómicos permitirán una adaptación basada en evidencia y mayores posibilidades de acceso al financiamiento internacional.

La potencialidad de contar con proyecciones oceánicas futuras bajo escenarios de cambio climático se enfoca en la generación de soluciones ágiles e integrales, haciendo uso de la innovación tecnológica, generación de proyectos oceanográficos e hidrográficos, que contribuyan a la conservación, cuidado del medio ambiente y mejoramiento de procesos para la gestión integral de la zona marino-costera.

Paso 3

Caracterización de la exposición. Regionalización.

La caracterización de la exposición en Nivel 3 implica el uso y desarrollo de datos espaciales de alta resolución. Poder llegar a este nivel implica la necesidad de disponer de unas muy buenas y desarrolladas fuentes de datos de los distintos capítulos de exposición.

En este nivel se determina de forma exhaustiva la localización detallada de los distintos capítulos de exposición, llegando a escala métrica (100-250m), siendo lo habitual basar la caracterización en cartografía espacial de detalle (edificaciones, parcelas, etc.). La tecnología actual permite incluso incluir distribuciones estacionales y temporales, si están disponibles (elaboradas a partir de datos de telefonía móvil, por ejemplo) si la naturaleza de la amenaza lo requiere.

No es común disponer de datos con el nivel de detalle y resolución necesario para todos y cada uno de los capítulos de exposición. El capítulo que suele disponer de un mayor nivel de detalle y desarrollo es el relativo a la población, siendo habitual que los censos lleguen a unidades reducidas (unidades censales) e incluso a nivel de edificación.

A pesar de ello, en ocasiones la necesidad de presentar la información al nivel de desagregación requerido exige la construcción de modelos ad-hoc para desagregar espacialmente la información presentada. En este proceso, algunos componentes como la población juegan un doble papel como componente de la exposición y como instrumento de desagregación espacial. Tomando esta información de la población como base, se puede realizar un proceso de desescalado (downscaling) del resto de fuentes de información a fin de aumentar la resolución y homogeneizar las distintas escalas.

Este proceso implica realizar las siguientes etapas:

1. Identificación del atributo a reescalar. Por ejemplo, stock de capital residencial.
2. Identificación del indicador de detalle a emplear como instrumento de reescalado. Por ejemplo población.
3. Criterio de imputación empleado. Por ejemplo, capital residencial per cápita constante
4. Cálculo del indicador re-escalado

Las etapas 2 y 3 pueden aplicarse de formas distintas, por ejemplo, considerando la renta per cápita municipal como un factor corrector se puede precisar más el criterio de reparto similarmente estableciendo como criterio de reparto una relación constante entre capital residencial y renta total se están combinando población y renta per cápita como instrumentos de re-escalado.

En la Tabla 38, se presenta una combinación de instrumentos de re-escalado a aplicar sobre distintos atributos de exposición. En la columna de criterios se expresan las hipótesis de reparto asociadas al instrumento elegido. El resultado del reescalado espacial queda por tanto condicionado por el criterio de imputación empleado.

Tabla 38.

Combinación de instrumentos de re-escalado a aplicar sobre distintos atributos de exposición.

DATOS	ATRIBUTO	Ud	Nacional	Regional	Local	Instrumento	Criterio
Stock de capital	Total	€\$ £				Población	$K_{pc} = cte$
	Sectorial	€\$ £				- Usos del suelo - Empleo - VAB - Renta - Densidad de pob.	$K_i/H_{ij} = cte$ $K_i/Emp_i = cte$ $K_i/VAB_i = cte$ $K_i/R_i = cte$ $K_i/D_i = cte$
PIB	Total	€/año				Población	$RIB_{pc} = cte$
VAB	Total	€/año				Población	$VAB_{pc} = cte$
	Sectorial	€/año				- Usos del suelo - Empleo - Stock - Densidad de pob.	$VAB_i/H_{ij} = cte$ $VAB_i/Emp_i = cte$ $S_i/VAB_i = cte$ $VAB_i/D_i = cte$

Cuadro 9.

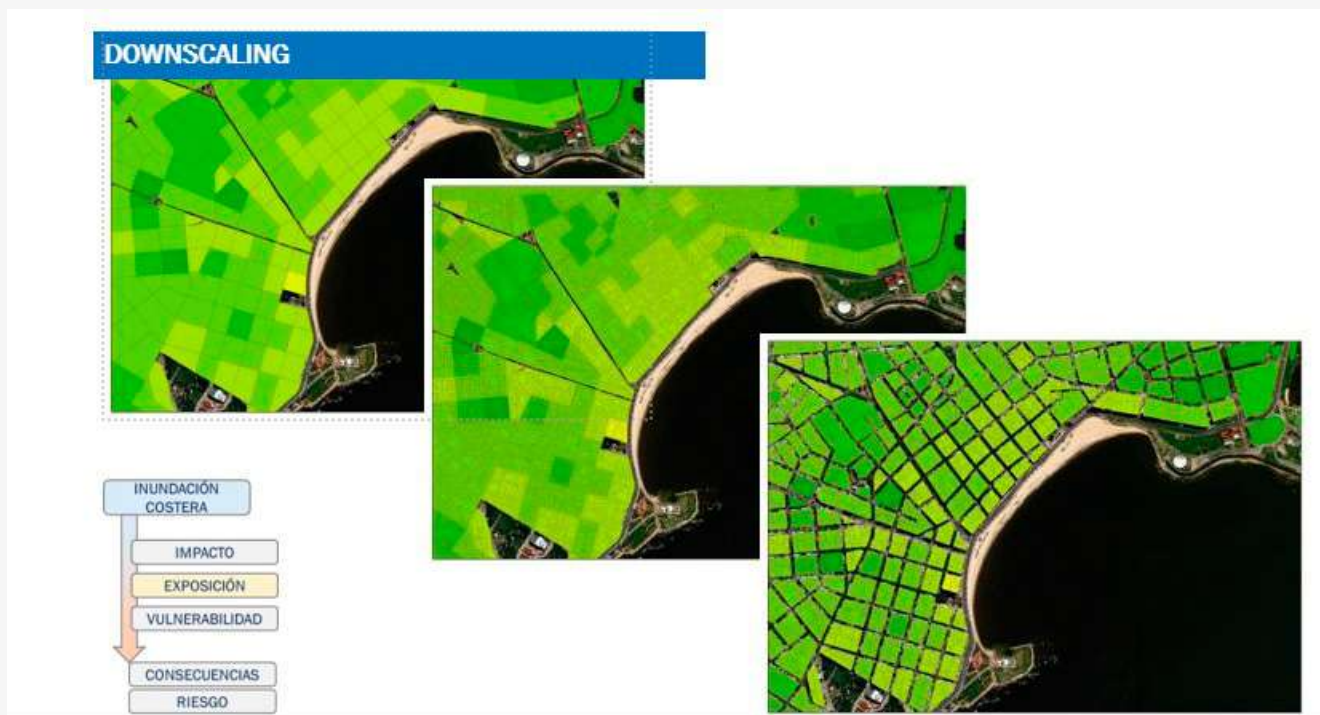
Ejemplo de distribución detallada de población.

Ejemplo de distribución detallada de población

En el caso siguiente presentamos la distribución de población en Uruguay. La distribución en medio urbano está localizada en unidades censales. Tras un proceso de desagregación espacial se ubica a la población en las unidades espaciales construidas.

Cuadro 9. Figura A.

Muestra de proceso de desescalado de la población (Montevideo, Uruguay).



La fuente de datos de mayor resolución disponible es el censo, que distribuye a las personas en unidades censales. Estas unidades espaciales incluyen distintas edificaciones, manzanas, e incluso barrios. Esta delimitación, implica que se incluye en las mismas zonas no edificadas como calles o carreteras.

El proceso de downscaling supone en este ejemplo recurrir a la información espacial del catastro (más detallada, limitada a las propias edificaciones) y asumir una distribución constante en todas las edificaciones que se encuentran dentro de una misma unidad censal.

Se consigue un doble efecto, por un lado, imputar una estimación de la población en cada edificación, y por otro lado aumentar la resolución de la información de partida eliminando datos de zonas en las que a ciencia cierta se sabe que no reside la población (calles y carreteras).

Cuadro 10.

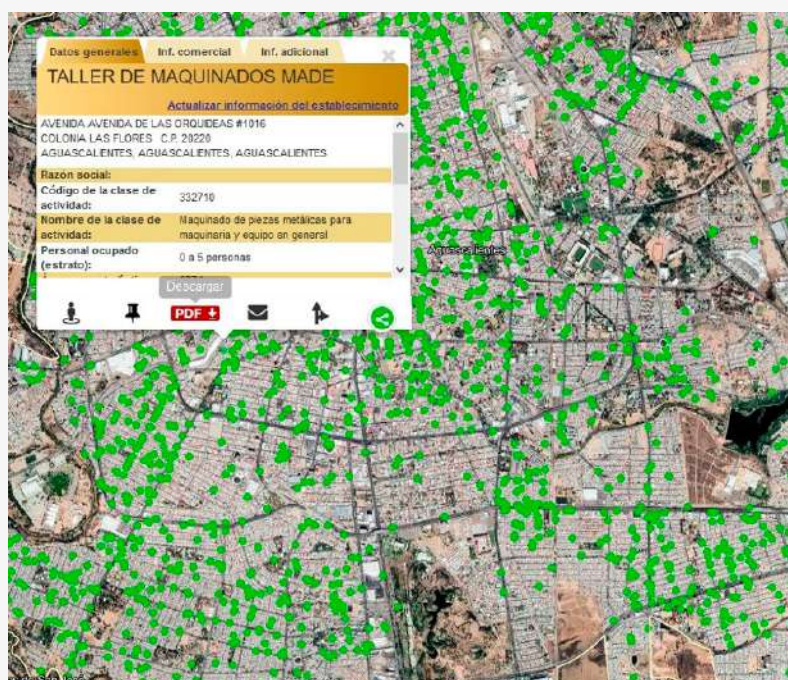
Ejemplo de distribución de actividades económicas geolocalizadas en Aguas Calientes México.

Ejemplo de localización de actividades económicas geolocalizadas en Aguas Calientes, México.

El INEGI mexicano proporciona en información detallada de la localización de los negocios y del empleo. Este dato permite distribuir el VAB de la actividad económica en cada nodo empleando como instrumento de desescalado espacial el empleo.

Cuadro 10. Figura A.

Distribución de actividades económicas y empleo INEGI México.



Paso 4**Caracterización de los impactos.
Selección de los modelos de impacto.**

La caracterización de impactos en el Nivel 3 se lleva a cabo a través de la aplicación de métodos o modelos que permiten obtener información geoespacial. La elección de la estrategia de modelado más apropiada en cada caso depende esencialmente de tres factores: la escala geográfica de la región, los datos disponibles y el tipo de análisis que se desee realizar.

- ✓ La escala de la región de estudio: cada escala geográfica requiere un tratamiento distinto. El coste computacional puede variar significativamente si el estudio de inundación costera debe realizarse a escala nacional, regional o local.
- ✓ Los datos disponibles: la resolución de la topografía y de la batimetría juega un papel decisivo tanto en la elección del esquema numérico a emplear, así como en la calidad de los resultados.
- ✓ El tipo de análisis estadístico: dependiendo de si se desea realizar un análisis probabilístico del riesgo o, por el contrario, únicamente se quiere simular un conjunto de eventos, el coste computacional conducirá a una estrategia de modelado del impacto específica.

INUNDACIÓN COSTERA

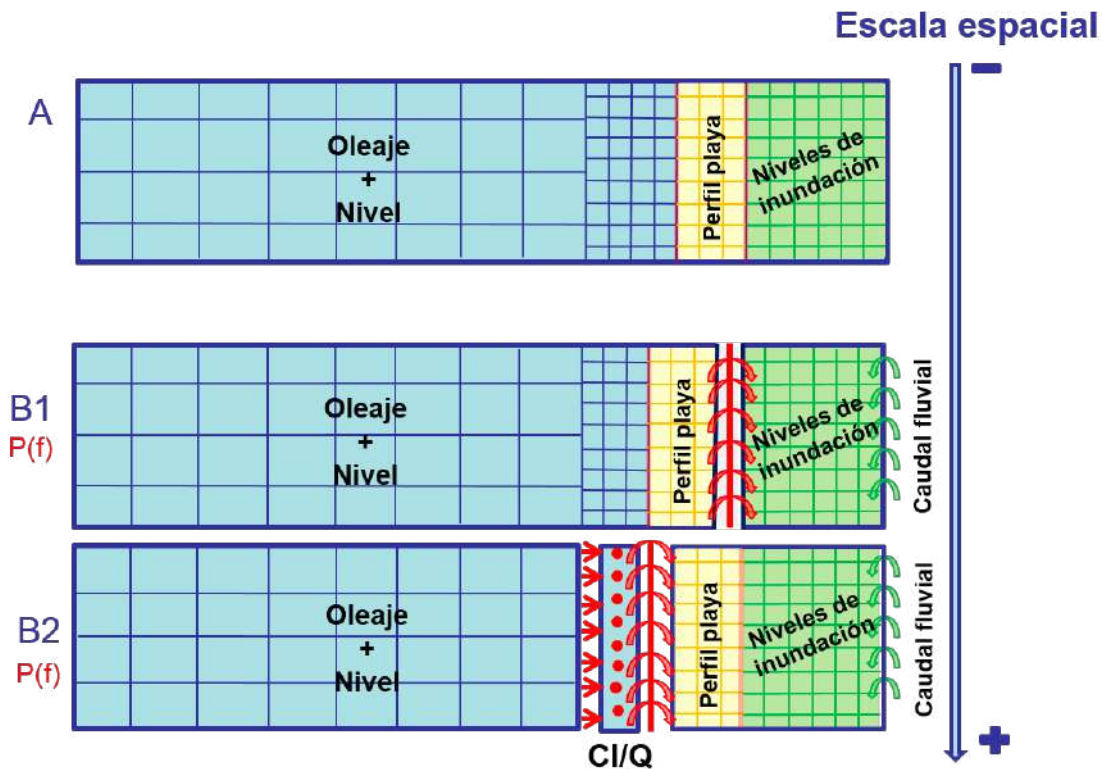
En el caso del impacto de inundación costera, el área de estudio es uno de los factores más limitantes a la hora de definir la estrategia de modelado más apropiada. Principalmente, se pueden distinguir tres escalas geográficas: nacional ○ (100-1000 km), regional ○ (10-100 km) y local ○ (1-10 km). Además, es necesario tener en cuenta la resolución de los datos disponibles, tanto de las dinámicas generadoras de la inundación (peligrosidad) como de los datos de exposición física (topografía y batimetría), y el número de escenarios que se quieren analizar. Por tanto, debe existir coherencia y homogeneidad entre las diferentes fuentes de información, la escala de la zona de estudio y el tipo de análisis deseado.

La aproximación más sencilla y rápida para obtener mapas de inundación, ampliamente utilizada a escala nacional y supranacional, requiere disponer de un MDT con una resolución horizontal mínima deseable del orden de 30-60 metros. La extensión de la inundación se obtiene mediante lo que se conoce como el método de la bañera, que consiste en cortar el MDT a una determinada cota calculada teniendo en cuenta dinámicas marinas. De acuerdo con esta aproximación, el volumen de agua que entra en el dominio es infinito y todo el terreno por debajo de un determinado nivel queda inundado.

La caracterización de la inundación a alta resolución requiere disponer de dinámicas a alta resolución. Si bien es más propia de estudios regionales o locales, podría llegar a aplicarse a escala nacional si los datos y recursos computacionales disponibles lo permitiesen. La resolución horizontal mínima deseable del MDT es de 5 metros a escala regional y de 1-2 metros a escala local; la resolución mínima vertical debe ser inferior a la cota de inundación de los eventos extremos característicos. Tal y como muestra la Figura 24, podemos distinguir tres estrategias de modelado de alta resolución distintas. La diferencia entre las estrategias A y B (B1-B2) radica en el modelo utilizado para la estimación de la extensión de la inundación y la cota de la lámina de agua sobre el terreno. En la estrategia A se utilizan modelos numéricos complejos que resuelven la hidrodinámica de la zona de rompientes de forma muy precisa. Estos modelos pueden ejecutarse en 2DH, llegando a proporcionar mapas de inundación a escala local, o en perfiles, admitiendo escalas geográficas regionales, aunque no muy extensas por su elevado coste de cómputo. En el segundo caso, la inundación se determina mediante el método de la bañera a partir de la intersección de la cota de inundación, definida por todas sus componentes y calculada con mucha precisión, con el MDT. En el caso de las estrategias tipo B, la inundación en tierra se simula mediante un modelo de inundación 2DH que puede estar forzado por dinámicas costeras (cota de inundación o caudal de rebase) y/o dinámicas continentales (precipitación local, escorrentía o caudal fluvial). Las estrategias B1 y B2 se diferencian por el grado de definición de la condición de contorno marina. La estrategia B1 requiere modelos numéricos para la simulación de la sobreelevación del nivel debido a la rotura del oleaje, en su contribución a la cota de inundación, o del caudal de rebase. En la estrategia B2, en cambio, se aplican fórmulas semi-empíricas para la definición de esta condición de contorno.

Figura 24.

Estrategias numéricas para el estudio de la inundación a escala regional/local (Toimil et al., 2016).



Existen diversos modelos numéricos que permiten simular la hidrodinámica de la zona de rompientes con diferente grado de complejidad de acuerdo con las ecuaciones que resuelven. Los más sofisticados resuelven la fase y se basan en las ecuaciones no estacionarias de conservación de masa y cantidad de movimiento integradas en vertical. Si bien pueden llegar a simular muy bien los procesos de difracción y refracción sólo son aplicables a escala local, tienen asociado un elevado coste computacional, pueden presentar problemas de inestabilidad y su versión 2DV más asequible (basada en perfiles) conlleva un aumento de la incertidumbre en la determinación de la inundación sobre el terreno. Hay otros modelos que resuelven las variaciones de onda corta a la escala del grupo de ondas (envolvente de onda corta) y las ondas largas asociadas (onda infragravitatoria) con un tiempo de computación aceptable.

La inundación en tierra puede obtenerse con modelos 2DH y 3D. Los modelos de inundación 2DH se basan en las ecuaciones de aguas someras (EAS) y pueden ser dinámicos, gravitacionales, difusivos o cinemáticos dependiendo de los términos

de la ecuación de momento que tienen en consideración. Los más habituales para caracterizar la inundación son los modelos dinámicos, que resuelven la ecuación completa, y la aproximación difusiva, también llamados inercia cero, que se obtienen despreciando el término de inercia advectiva o aceleración en las EAS. A su vez, los modelos 2DH pueden clasificarse según el esquema numérico que usan para integrar y resolver las ecuaciones de gobierno (diferencias finitas, volúmenes finitos o bien elementos finitos) o como modelos de almacenamientos de celdas (a veces considerados como esquemas de diferencias o volúmenes finitos simplificados). Por último, los modelos 3D resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes con descomposición de Reynolds. Aunque los modelos 3D permiten reproducir los procesos del flujo con mucho detalle y proporcionar predicciones locales de los campos de velocidad 3D en los canales principales y en las llanuras de inundación, una serie de factores limitantes dificulta su aplicación como modelos de inundación. El coste computacional es considerablemente mayor que la de los modelos 2DH, en particular en el caso de los flujos dinámicos poco profundos con cambios significativos en la extensión del dominio. Estos modelos suelen utilizarse para simular procesos de flujo específicos como el transporte de sedimentos, los procesos de erosión-sedimentación y el análisis de la calidad del agua en zonas costeras.

Finalmente, la estrategia de modelado también está condicionada por el tipo de análisis que se desee realizar. En general, pueden distinguirse dos tipos de análisis: basado en escenarios o probabilístico. El primero consiste en simular un conjunto de casos donde los forzamientos pueden corresponder, por ejemplo, a eventos históricos o futuros asociados a una probabilidad o periodo de retorno. El segundo, admite a su vez varios tipos de caracterización estadística: unidimensional o multidimensional de las condiciones o la aplicación de un generador estocástico para aumentar la población de extremos. Este análisis puede realizarse sobre las condiciones marinas o continentales generadoras de la inundación, o sobre el impacto, es decir, sobre la inundación en sí misma, teniendo en cuenta la acción combinada de las diferentes dinámicas. En este último caso, la estrategia escogida debe permitir la simulación de un elevado número de condiciones dinámicas con un coste de cómputo asequible. Por tanto, si bien la estrategia A está limitada al estudio de un conjunto de escenarios, las estrategias B1 y B2 permiten un análisis probabilístico del impacto, siempre que los modelos elegidos para resolver la sobre-elevación del oleaje en rotura y de la inundación

en tierra conlleven un esfuerzo computacional aceptable. Una alternativa para realizar análisis probabilísticos utilizando algunos de los modelos menos eficientes es la selección de un conjunto de casos representativos de toda la población mediante técnicas estadísticas de clasificación, la simulación de estos casos y la reconstrucción posterior del resto de condiciones de la muestra mediante interpolación.

La Tabla 39 muestra un resumen de los tipos de modelos o métodos que pueden aplicarse para estudiar la inundación costera, ejemplos concretos de esos modelos, si permiten obtener mapas de inundación y/o forzamientos para aplicar otros modelos, la escala de aplicación más habitual y el tipo de análisis estadístico para el que resultan más apropiados.

Tabla 39.
 Tabla resumen de tipos de modelos y ámbito de aplicación. *: sólo es posible el análisis probabilístico mediante una selección de casos representativos, su simulación y la posterior reconstrucción de toda la casuística posible.

TIPO DE MODELO	TIPO DE MODELO	EJEMPLOS	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCALA DE APLICACIÓN HABITUAL Y TIPO DE ANÁLISIS MÁS APROPIADO
No resuelven procesos				
Basado en cotas topográficas		Método de la bañera	En tierra. Estática.	Cualquier escala. Escenarios o probabilístico.
Resuelven procesos				
Inundación 2DH	Numéricos	TUFLOW (Syme, 2001); MIKE FLOOD (Patro et al., 2009)	En tierra. Dinámica. Admiten forzamiento marino y continental.	Local o regional. Escenarios o probabilístico*.
	Almacenamiento de celdas	SFINCS (Leijnse et al., 2021); RFSM-EDA (Jamieson et al., 2012); LISFLOOD-FP (Bates y de Roo, 2000)	En tierra. Dinámica. Admiten forzamiento marino y continental.	Cualquier escala si se dispone de un MDT de alta resolución. Escenarios o probabilístico.
Circulación oceánica		ADCIRC (Luettich et al., 1991); ROMS (Shchepetkin y McWilliams, 2005)	Forzamiento marino y/o inundación en tierra. Dinámica.	Local o regional. Escenarios o probabilístico*.
Oleaje	Numéricos	BOUSSINESQ (Wei et al., 1995); IH-2VOF (Torres-Freyermuth et al., 2007); SWASH (Zijlema et al., 2011)	Forzamiento marino y/o inundación en tierra (2DH o perfiles). Dinámica.	Local. Escenarios.
	Almacenamiento de celdas	XBEACH (Roelvink et al., 2009)	Forzamiento marino y/o inundación en tierra (2DH o perfiles). Dinámica.	Local o regional. Escenarios o probabilístico*.
Circulación oceánica y oleaje (fase promediada y tensor de radiación)		DELFT 3D (Roelvink y Banning, 1995); COAWST (Warner et al., 2010)	Forzamiento marino y/o inundación en tierra. Dinámica.	Local. Escenarios o probabilístico*.

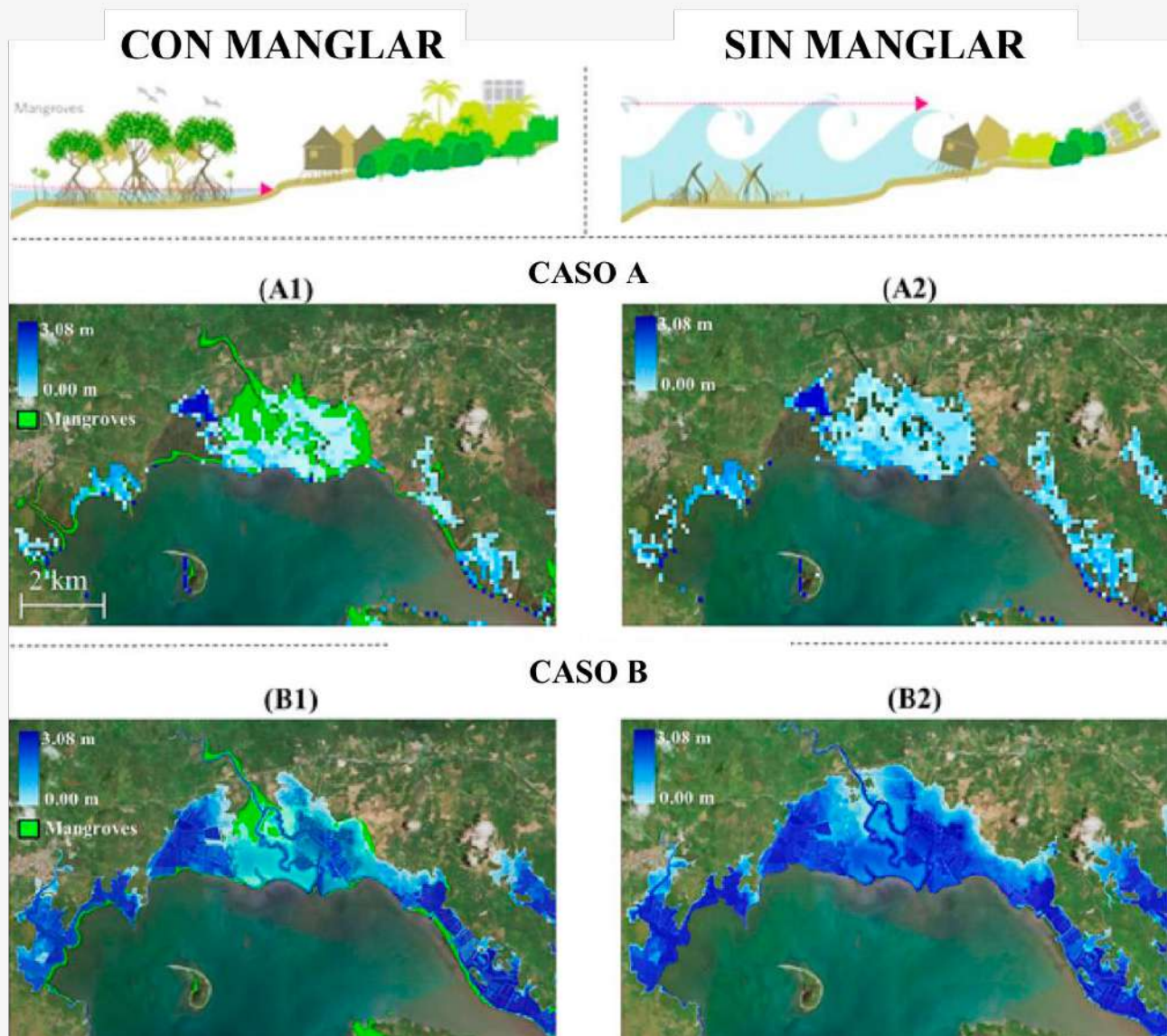
Cuadro II.

Efecto del método de inundación y bases de datos sobre la evaluación del riesgo nivel 3.

Efecto del método de inundación y bases de datos sobre la evaluación del riesgo Nivel 3

Figura A.

Efecto de las bases de datos y métodos utilizados sobre el resultado de los mapas de inundación (Menéndez et al., 2019)



La Figura A muestra las diferencias obtenidas en los mapas de inundación correspondientes a un análisis de los servicios de protección asociados a la presencia de manglar en la costa. Los mapas se han obtenido para un huracán de 50 años de periodo de retorno. El Caso A corresponde a un análisis en el que el modelo digital del terreno (MDT) tiene 90 m de resolución, la inundación se ha hecho con un método de la bañera basado en SIG y la población se ha tomado de una base de datos con 1 km de resolución y se ha re-escalado a 90 m. El Caso B se ha realizado con un MDT de 5 m de resolución espacial, con un modelo de procesos RFSM-EDA y la población se ha tomado de una base de datos de 100 m de resolución y se ha re-escalado a 5 m. De manera análoga se ha procedido con los activos expuestos, re-escalando de una base de datos de 5 km a 90 m en el Caso A y a 5 m en el Caso B. Los forzamientos climáticos son idénticos en los dos casos. Los Casos A1 y A2 corresponden a situaciones con la cobertura de manglar presente, mientras que la A2 y B2 simulan un escenario en el que se produzca la desaparición del manglar por efectos naturales o antrópicos. En ambos casos, las funciones de daño empleadas para la población y activos construidos afectados provienen de HAZUS.

Se puede observar que la metodología simplificada y con una menor resolución del MDT da lugar a una superficie de inundación notablemente inferior y a valores considerablemente más bajos en la cota de inundación alcanzada en diferentes puntos. Esto tiene como resultado diferencias considerables en los resultados de evaluación del servicio de protección tanto en términos de superficie inundada, como de población afectada o en daños sobre activos construidos.

Tabla.A

Diferencias obtenidas en el servicio de protección en función de los métodos y bases de datos

	Superficie inundada (ha)			Población afectada (no)			Daños en (USD mill)		
	Con manglar	Sin manglar	Beneficio de protección	Con manglar	Sin manglar	Beneficio de protección	Con manglar	Sin manglar	Beneficio de protección
CASO A	320	350	30	3.898	4510	612	4,23	5,05	0,82
CASO B	139	216	77	696	1268	572	1,22	1,94	0,72

Cuadro 12.

Ejemplo de caracterización del impacto de inundación costera para un análisis Nivel 3.

Ejemplo de caracterización del impacto de la inundación costera para un análisis Nivel 3

El primer paso para realizar una caracterización de la inundación costera Nivel 3 es la selección de la estrategia de modelado que se va a aplicar, que depende fundamentalmente de la escala geográfica, de los datos disponibles (especialmente de la resolución de la topografía) y del tipo de análisis que se desee realizar. En este ejemplo se ha escogido la estrategia B2. Siguiendo esta estrategia, se requieren datos de oleaje y nivel del mar cerca de costa. Con esa información, se calcula el indicador de cota de inundación (CI), por ejemplo, la CI de 100 años de periodo de retorno, de la misma forma que para la caracterización de la inundación costera Nivel 2. A partir de ese indicador, se construye un hidrograma que se utiliza como forzamiento del modelo de inundación de almacenamiento de celdas. Finalmente, como resultado de la simulación, en la que intervienen también otros factores, se obtienen mapas de inundación que nos dan información sobre la extensión de la inundación y la cota de la lámina de agua en cada celda.

Cuadro 12. Figura A.

Esquema de la estrategia escogida en este ejemplo para modelar la inundación costera.



El segundo paso es el cálculo del indicador de CI de 100 años de periodo de retorno. Este indicador se puede calcular siguiendo el ejemplo que se proporciona en esta Guía para la caracterización de la inundación costera Nivel 2.

Para calcular la CI es necesario disponer de series temporales de sus componentes, que son el set-up del oleaje, la marea meteorológica y la marea astronómica.

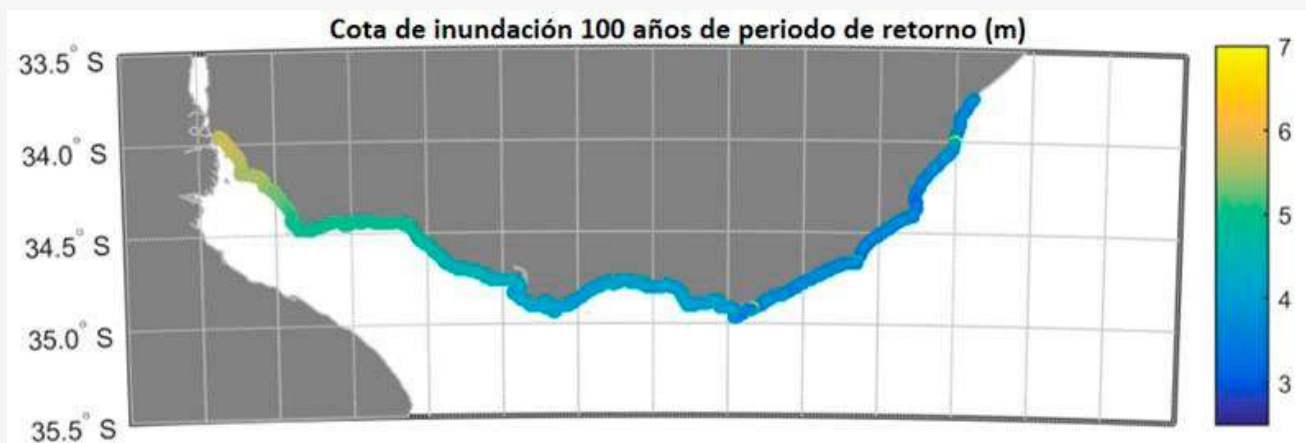
Para horizontes temporales futuros, será necesario disponer del valor del aumento del nivel medio del mar correspondiente. Una vez definida la formulación completa de la CI y los puntos en los que va a reconstruirse (i.e., cada kilómetro a escala nacional y cada 200-500 m a escala regional es lo deseable si las bases de datos de dinámicas disponibles lo permiten), hay que seleccionar el modelo numérico o la formulación semiempírica que se va a usar para determinar el set-up. Siguiendo con el

ejemplo de caracterización de la inundación costera Nivel 2 propuesto, se emplea la fórmula de Stockdon et al. (2006), en la que el set-up es función de la pendiente intermareal y de la altura de ola y la longitud de onda en agua indefinidas. Para la obtención de la pendiente intermareal se debe realizar un perfilado de la costa con la misma resolución a la que se va a reconstruir la CI. Para extraer los perfiles, se corta un modelo topo batimétrico con resolución mínima deseable de 30 metros a escala nacional y de 5 metros a escala regional. Stockdon et al. (2006) propone utilizar datos de oleaje en costa retro propagados de forma que no estén afectados por efectos locales.

Los perfiles generados, por tanto, deben extenderse desde esa profundidad hasta la berma. A cuantiles de CI asociados a diferentes periodos de retorno. En el caso de estar trabajando con proyecciones, debe sumarse a esos cuantiles de CI el valor del aumento del nivel medio del mar correspondiente al horizonte y al escenario considerados. Todo este proceso se explica con más detalle en el ejemplo sobre caracterización de la inundación costera Nivel 2 de esta Guía. Como resultado, la Figura B muestra la distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno para el clima actual a lo largo de la costa de Uruguay cada kilómetro.

Cuadro 12. Figura B.

Distribución espacial de la CI de 100 años de periodo de retorno cada kilómetro a lo largo de la costa de Uruguay.



El tercer paso consiste en la selección del modelo de inundación que se va a utilizar para generar los mapas de inundación y en la generación de la malla de cómputo. Para este ejemplo, el modelo escogido es RFSM-EDA (Jamieson et al., 2012), un modelo hidráulico bidimensional eficiente basado en el método de almacenamiento de celdas que proporciona mapas de inundación y profundidades de agua sobre el

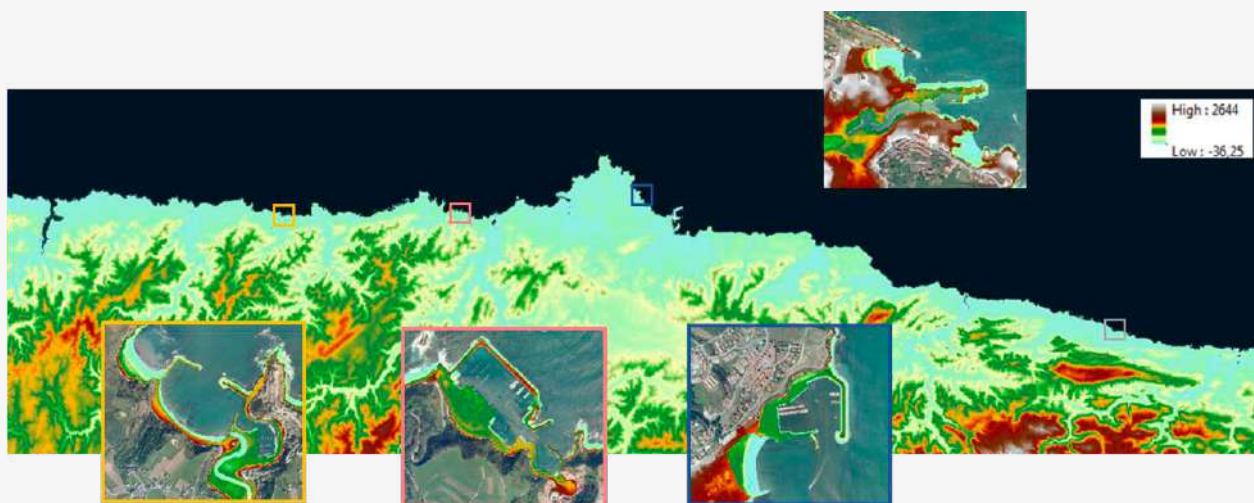
terreno. Su algoritmo permite tener en cuenta los rasgos característicos de la topografía, como crestas y puntos bajos, procedentes de un Modelo Digital del Terreno (MDT) de alta resolución. El modelo admite diversas fuentes de descarga, marinas (p.ej., caudal de rebase sobre estructuras o CI) y continentales (p.ej., precipitación local, escorrentía o caudal fluvial), y es sensible a la rugosidad local de Manning.

La malla computacional que utiliza RFSM-EDA está formada por un conjunto de polígonos irregulares cuyas interfaces son crestas topográficas que tienen como subelemento las propias celdas del MDT. De esa forma, la calidad de los mapas de inundación resultantes será directamente proporcional a la calidad del MDT que se utilice como base. El MDT, por tanto, debe ser de alta resolución e incorporar las defensas costeras tales como estructuras, encauzamientos de ríos u otras singularidades que puedan influir en el curso de la

inundación, sobre todo cerca de núcleos de población. Además, es necesario disponer de una línea de costa de alta resolución que se ajuste perfectamente a la orografía del territorio y que siga un criterio homogéneo para su ajuste en las playas (p.ej., bajamar o pleamar). La Figura C muestra el MDT del Principado de Asturias (España) de 5 metros de resolución horizontal. Este MDT incorpora defensas costeras digitalizadas a partir de planos.

Cuadro 12. Figura C.

Modelo digital de terreno en la costa del Principado de Asturias (España) con las defensas incorporadas.

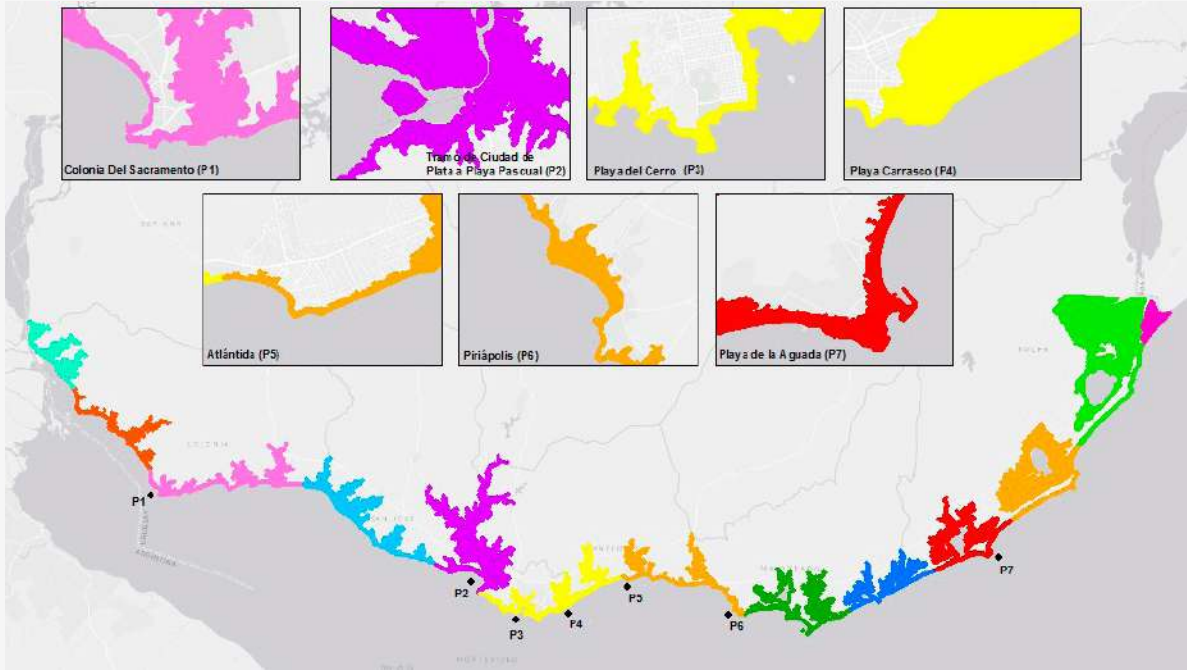


La caracterización de la inundación costera se limita a las zonas costeras de baja altitud (LECZ, de sus siglas en inglés), término definido en la literatura como el área contigua a la costa que se encuentra a menos de 10 metros sobre el nivel del mar (McGranahan et al., 2007). Por ello, previa elaboración de las mallas de cómputo de RFSM-EDA, tanto el MDT como el área de LECZ deben cortarse a cota 10 metros. Esto, además, permitirá

reducir significativamente el coste computacional de las simulaciones del modelo de inundación. Las Figuras D y E muestran las mallas de cómputo elaboradas en la costa de Uruguay. La longitud de la costa de Uruguay es aproximadamente 700 km, por lo que fue necesario elaborar 13 mallas computacionales para cubrir todo el territorio. Estas mallas fueron creadas a partir de un MDT de muy alta resolución (4 metros).

Cuadro 12. Figura D.

Zonificación de la costa de Uruguay en 13 mallas computacionales con un kilómetro de solape cada una.



Cuadro 12. Figura E.

Detalle de la malla de cómputo en la desembocadura del río Santa Lucía (Uruguay).

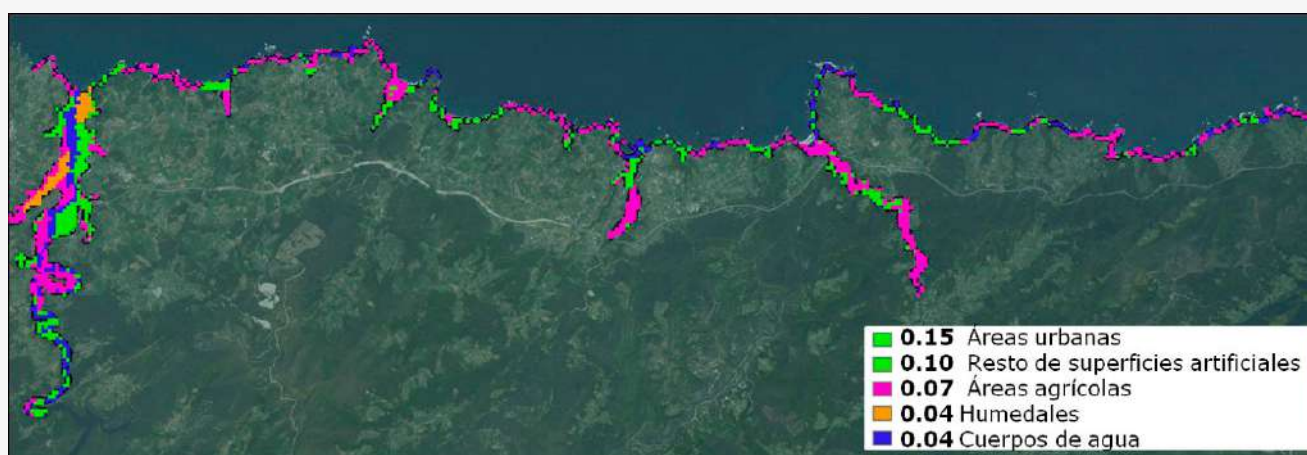


Finalmente, es necesario asignar a cada una de las celdas de la malla computacional un coeficiente de rugosidad de Manning, parámetro fundamental para el cálculo hidráulico. Esos coeficientes pueden inferirse a partir de los usos del suelo de la región. La Figura

F muestra, para un tramo de la costa del Principado de Asturias, la distribución espacial de coeficientes de rugosidad de Manning para zonas urbanas y otras superficies artificiales, áreas agrícolas, humedales y cuerpos de agua.

Cuadro 12. Figura F.

Distribución espacial de rugosidades inferidas a partir de los usos del suelo en un tramo de la costa del Principado de Asturias (España).



El cuarto paso es la preparación de los forzamientos necesarios para la generación de los mapas de inundación costera y la validación del modelado de inundación. El modelo de inundación se fuerza con series temporales de los forzamientos asociadas a un evento. Ese evento puede ser un temporal de la serie histórica cuya duración sea la duración del temporal o puede caracterizarse a partir de un valor de la CI determinado. En este último caso, se construye un hidrograma cuyo valor máximo, siguiendo con este ejemplo, es la CI de 100 años de periodo de retorno y cuya duración es la duración media de un temporal en la zona de estudio (p.ej., 6, 12 o 20 horas).

Si el modelo de inundación seleccionado lo permite, como RFSM-EDA, es posible simular eventos de inundación que combinen forzamiento costero y continental. En ese caso, el modelo puede forzarse con un evento de CI (o de caudal de rebase sobre estructuras costeras) y con una serie de caudal fluvial o de precipitación local de forma simultánea. Estas pueden ser representativas de condiciones medias o pueden resultar de una combinación estadística multivariada de extremos.

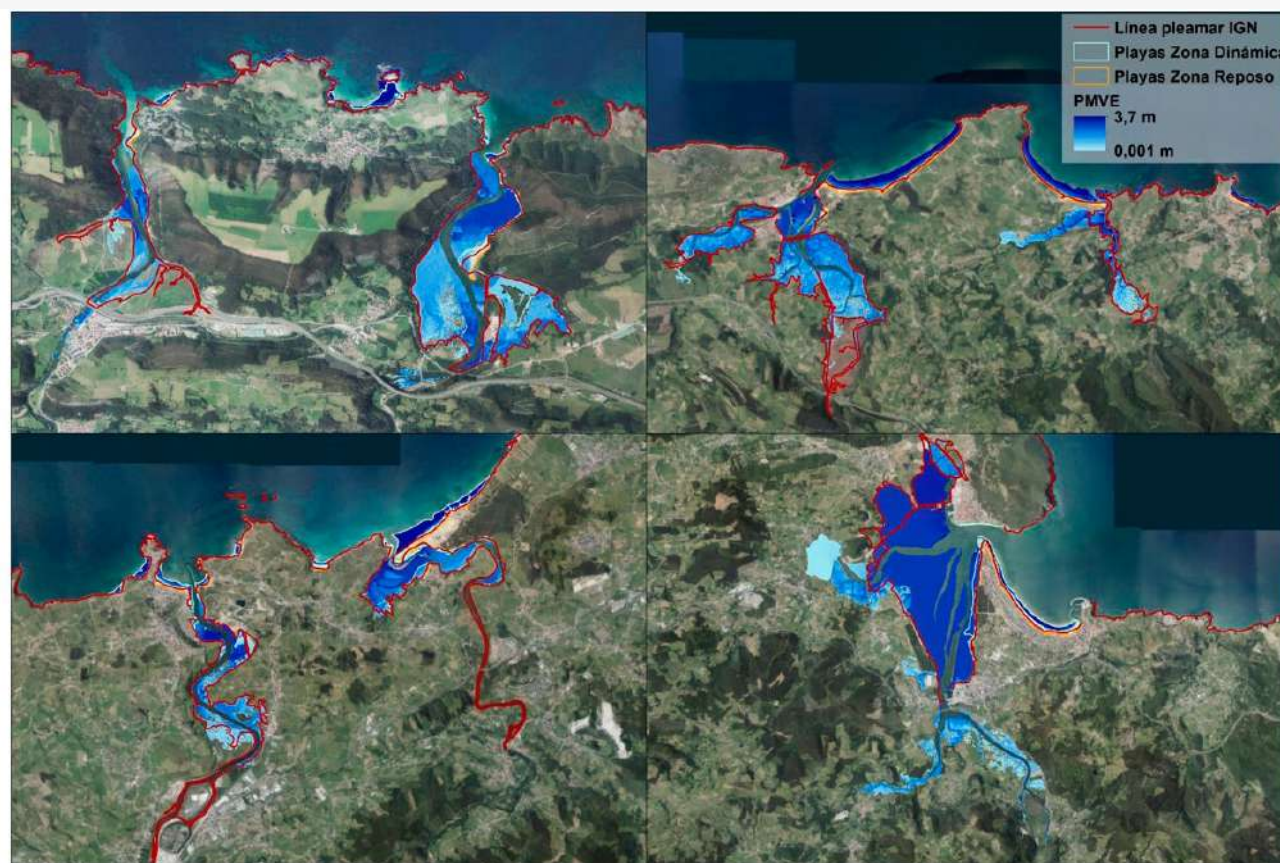
Una vez preparados todos los forzamientos, es importante realizar una validación del modelado. Para

ello hay que contar con información de marcas de agua asociadas a eventos históricos o la delimitación del área inundada por un evento de pleamar viva

equinoccial. En la Figura G se muestra la validación de la inundación asociada a la pleamar viva equinoccial en los estuarios de Cantabria (España).

Cuadro 12. Figura G.

Detalle de la validación de la inundación asociada a la pleamar viva equinoccial en los estuarios de Cantabria (España).



El quinto paso es la simulación de la inundación costera con el modelo de inundación y la obtención de los mapas de inundación asociados. Deben realizarse tantas simulaciones como escenarios se hayan planteado en el estudio. Si se dispone de diversas mallas computacionales, las simulaciones se realizan en cada malla de forma independiente y, una vez

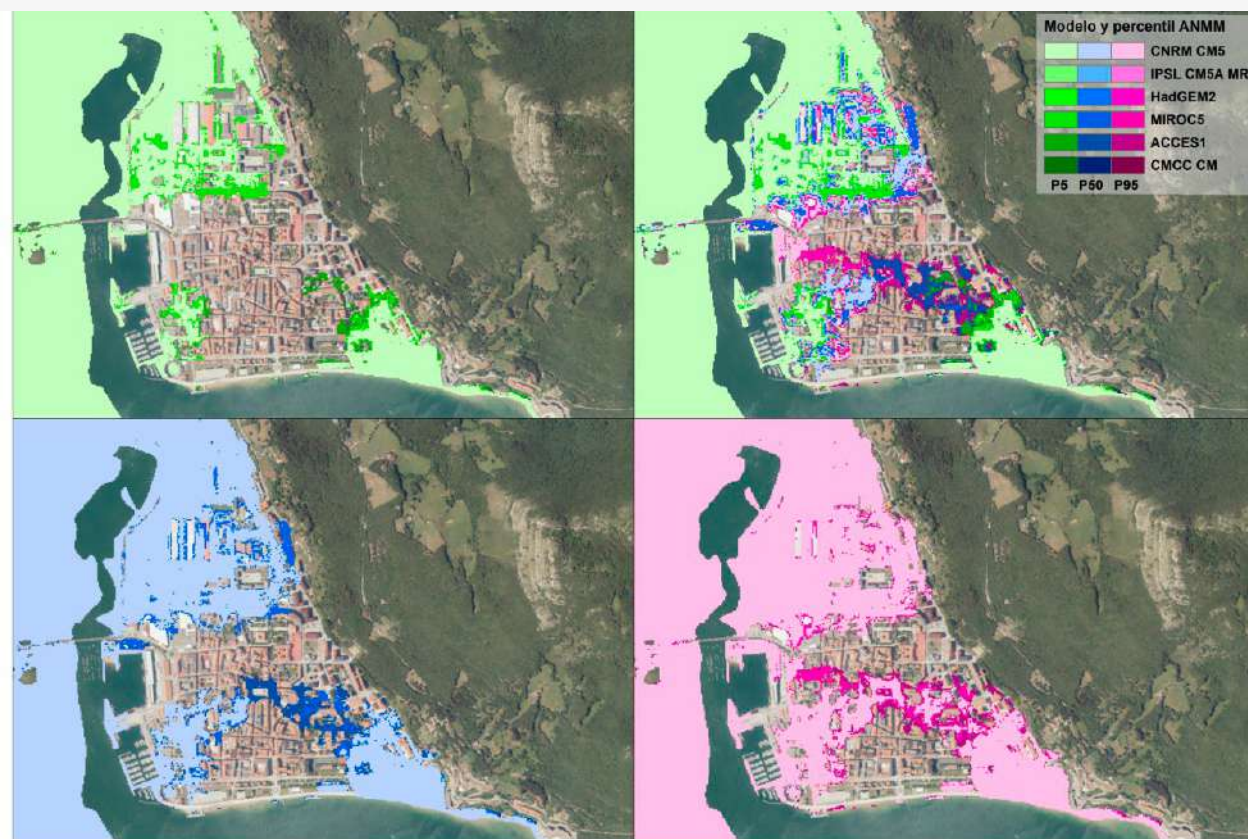
obtenidos los mapas, estos se combinan mediante la aplicación de las herramientas pertinentes utilizando sistemas de información geográfica. La Figura H muestra mapas de inundación obtenidos con el modelo RFSM-EDA en el municipio de Santoña, en Cantabria (España). Estos mapas están asociados a la CI de 100 años de periodo de retorno 2100 para el escenario

de concentraciones RCP8.5. El cálculo de la CI se emplearon proyecciones dinámicas de 6 modelos climáticos globales y se combinaron 3 percentiles

de la distribución del aumento del nivel medio del mar (5%, 50% y 95%) para el mismo horizonte y escenario.

Cuadro 12. Figura H.

Mapas de inundación en Santoña (Cantabria, España) asociados a la cota de inundación de 100 años de periodo de retorno para el año horizonte 2100 y bajo el escenario de concentraciones RCP8.5, considerando 6 modelos climáticos y 3 percentiles de la distribución del aumento del nivel medio del mar.



EROSIÓN

Las playas son sistemas complejos y dinámicos y experimentan cambios en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Estos cambios van desde fluctuaciones de pequeña escala originadas por la formación de cúspides (i.e., formas rítmicas de entrantes y salientes que se forman en el frente de playa con longitud de onda del orden de decenas de metros) a cambios de gran escala debidos a ondas de borde que viajan por la costa, eventos meteorológicos extremos y patrones climáticos estacionales. A pesar de todo lo que se ha avanzado en la última década en la comprensión de los procesos litorales, describir los cambios en la costa cubriendo todo el rango de escalas espaciales y temporales es aún un reto. Esto puede simplificarse, no obstante, si sólo se considera el subconjunto de escalas más relevante para el estudio que se desee realizar. Por ejemplo, en el contexto del análisis de los riesgos del cambio climático, es necesario conocer los cambios en la línea de costa asociados a eventos y a la variabilidad interanual (estacional) e interdecadal, durante periodos que pueden ir desde décadas a cientos de años.



El estudio de la migración de la línea de costa puede simplificarse más separando los cambios debidos a procesos longitudinales, principalmente responsables de los cambios a largo plazo (i.e., décadas), de los causados por los procesos transversales que tienen lugar a escalas mucho más pequeñas (i.e., horas, días y años). Una excepción a esta generalización es el retroceso de la línea de costa largo plazo debido al aumento del nivel medio del mar, que resulta en un reajuste del perfil al nuevo nivel del mar y es una respuesta transversal. Esta separación, que admite la ortogonalidad de los procesos litorales, es un procedimiento común que ha dado lugar a dos categorías de modelos morfológicos: modelos de planta o longitudinales y modelos de perfil o transversales. A su vez, existe una segunda hipótesis subyacente relativa a la escala temporal y la necesidad de utilizar formulaciones específicas en función de la escala de interés. En este sentido, se distinguen dos tipos de dinámicas: las de corto plazo, como son el oleaje, la marea meteorológica y la marea astronómica, y las de largo plazo, como es la subida del nivel medio del mar. Si bien como respuesta al aumento del nivel medio del mar las playas sufrirán un retranqueo del perfil, estudios empíricos han demostrado que muchos de los cambios significativos de la línea de costa ocurren como respuesta a eventos climáticos extremos en los que éstos producen por incrementos del nivel del mar local debidos fundamentalmente al oleaje y la marea meteorológica. Además, en playas macromareales, la marea astronómica puede jugar un papel importante en la variabilidad de la costa a la escala de horas y días e influir en los eventos extremos de erosión. Finalmente, es importante poner de manifiesto que el oleaje, pese a ser una dinámica de corto plazo, puede generar gradientes en el transporte longitudinal de sedimentos y provocar así que las playas experimenten giros a escalas que pueden alcanzar décadas. El acoplamiento de estos procesos que ocurren a distintas escalas temporales es complejo y, aunque ya hay estudios al respecto, actualmente sólo está resuelto de forma aproximada.

La estrategia de modelado de la erosión también está condicionada por el tipo de análisis que se desee realizar. En la actualidad existen cinco tipos de análisis con distinto nivel de desarrollo probabilístico. El primer nivel corresponde a los análisis deterministas, que consideran la incertidumbre, y en los que el modelo de erosión se ejecuta una única vez con un único conjunto de forzamientos y el resultado es un único valor (p.ej., asociado a un escenario). El segundo nivel

se conoce como múltiple determinista. En este caso, hay un número limitado de baterías de datos, configuraciones del modelo y simulaciones de éste. La incertidumbre se muestrea considerando un rango de variación de las dinámicas forzadoras o de los parámetros de los modelos y el resultado ya no es un único valor sino un rango de valores (p.ej., valor medio y desviación típica). El tercer nivel se basa en la consideración de conjuntos de datos, configuraciones del modelo y simulaciones (p.ej., asociados a diferentes escenarios, modelos climáticos o modelos de erosión). Los resultados obtenidos pueden expresarse de forma independiente o agregada a través de estadísticos representativos de los conjuntos considerados. El cuarto nivel se conoce como probabilidad subjetiva u objetiva y, como un nombre indica, los datos de entrada y/o los parámetros del modelo se caracterizan mediante funciones de probabilidad que pueden construirse en base a criterio experto u observaciones, respectivamente. Finalmente, el quinto nivel es probabilístico. En este caso, los datos de entrada y/o los parámetros del modelo se describen mediante funciones de probabilidad generadas a través de la aplicación de modelos estadísticos. En los dos últimos niveles, los resultados se obtienen de múltiples realizaciones del modelo de erosión y pueden expresarse en forma de percentiles e incorporar bandas de confianza.

De forma general, los modelos de erosión pueden clasificarse en empíricos, físicos o de procesos. Los modelos empíricos se construyen a partir de campañas de medida (p.ej., levantamientos de perfiles en playas) y de información procedente de fotografías aéreas, campañas satelitales y vuelos con drones. Las escalas espaciotemporales a las que se aplican dependen de la disponibilidad de las observaciones. El resultado es determinista y agregado, es decir, nos da información sobre la posición de la línea de costa, pero no de la contribución explícita de cada proceso litoral a alcanzar esa posición.

La segunda categoría de modelos corresponde a los de tipo físico. Estos suelen centrarse en representar un único proceso físico relevante y pueden acoplarse de distintas formas para proporcionar una caracterización más completa de los cambios en la línea de costa. Por lo general, son simples, tienen pocos parámetros y su bajo coste computacional los hace especialmente apropiados para el análisis probabilístico. Estos incluyen modelos de perfil de equilibrio, de evolución del perfil de equilibrio, de evolución de dunas y de una línea. El modelo de perfil de equilibrio por excelencia es la regla de Bruun que, mediante una conversión de

masa bidimensional simple, establece una relación lineal entre la subida del nivel medio del mar y el retroceso de la costa. Debido a su simplicidad, la regla de Bruun más allá de su aplicación como aproximación ha sido muy cuestionada. Conservando sus fundamentos, algunos autores han propuesto formulaciones alternativas que en su mayoría tratan de incorporar al balance sedimentario fuentes y sumideros adicionales. Estos pueden incluir gradientes en el transporte longitudinal, aportes de arena naturales y artificiales y los efectos que los estuarios pueden tener sobre las costas adyacentes. Los modelos de evolución del perfil de equilibrio asumen que la línea de costa tiende a una posición de equilibrio cuando está sometida a forzamiento constante. Estos modelos describen la evolución de la línea de costa, que oscila en torno a una posición media, como respuesta a procesos transversales debidos a variaciones del nivel del mar o a la energía del oleaje. Son aplicables a diferentes escalas que incluyen eventos extremos, fluctuaciones estacionales y patrones climáticos de gran escala. Los modelos de evolución de dunas se emplean generalmente para analizar el efecto de eventos extremos o series de eventos extremos y asumen que existe una relación entre el impacto del oleaje roto sobre la duna y el peso de la arena erosionada sobre ésta. El último tipo de modelo dentro de la categoría de modelos físicos es el de una línea, que reproduce la respuesta de la línea de costa frente a procesos longitudinales. Estos modelos resuelven una ecuación de conservación de masa que relaciona los gradientes longitudinales de transporte de sedimentos con avances y retrocesos del perfil, cuya forma se mantiene constante. Los cambios en la línea de costa resultantes suelen ocurrir a escalas de años y décadas.

Finalmente, los modelos de procesos son capaces de resolver procesos de pequeña escala, pero son difíciles de calibrar debido a su gran cantidad de parámetros libres y son computacionalmente costosos, lo que dificulta su empleo en análisis probabilísticos. Estos modelos acoplan hidrodinámica, transporte de sedimentos y morfodinámica resolviendo las ecuaciones de conservación de masa y de momento de flujo y sedimento. De este modo, permiten modelar cambios en la batimetría, la erosión de la duna y su rotura, además de otros procesos complejos. Su dominio de aplicación espacial y temporal es del orden de kilómetros y horas, respectivamente. Una alternativa para realizar análisis probabilísticos usando modelos de procesos es la selección de un conjunto de casos representativos mediante técnicas estadísticas de clasificación, la simulación de estos casos y la reconstrucción del resto de condiciones mediante interpolación.

La Tabla 40 muestra un resumen de los tipos de modelos que pueden aplicarse para estudiar la erosión costera, ejemplos concretos de esos modelos, qué tipo de resultados de erosión proporcionan, la escala de aplicación más habitual y el tipo de análisis estadístico para el que resultan más apropiados.

Tabla 40.

*Tabla resumen de tipos de modelos de inundación y ámbito de aplicación. *: sólo es posible el análisis probabilístico mediante una selección de casos representativos, su simulación y la posterior reconstrucción de toda la casuística posible. **: existen modelos modulares que combinan más de un modelo físico.*

TIPO DE MODELO	TIPO DE TRANSPORTE	EJEMPLOS	TIPO DE EROSIÓN	ESCALA DE APLICACIÓN HABITUAL Y TIPO DE ANÁLISIS MÁS APROPIADO
Modelos empíricos				
Campañas de medida	No determinan la contribución explícita de cada proceso al transporte total.	Levantamiento de perfiles	Cambios en la línea de costa.	Escalas espaciotemporales en función de los datos observados. Determinista.
Fotografías aéreas, datos de satélite y drones		Algoritmo CoastSat (Vos et al., 2019)		
Modelos físicos**				
Perfil de equilibrio	Transversal debido al aumento del nivel medio del mar.	La regla de Bruun (Bruun, 1962)	Retroceso de la línea de costa a largo plazo.	Años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
	Transversal debido al aumento del nivel medio del mar y a otras fuentes y sumideros.	Dean y Houston (2016); Rosati et al. (2015); Toimil et al. (2017)	Cambio en la línea de costa a largo plazo.	Años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
Evolución del perfil de equilibrio	Transversal debido al oleaje y al nivel medio del mar.	Miller y Dean (2004)	Cambio en la línea de costa a corto y medio plazo.	Eventos, años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
	Transversal debido a la energía del oleaje	Yates et al. (2009), Splinter et al. (2014)	Cambio en la línea de costa a corto y medio plazo.	Eventos, años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
Evolución de dunas	Transversal debido a la energía del oleaje.	Larson et al. (2004)	Retroceso del pie de la duna a corto plazo.	Eventos, años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
Una línea	Longitudinal debido al oleaje.	CERC (US Army Corps of Engineers, 1984); Kamphuis (1991); Van-Rijn (1984)	Cambio en la línea de costa a medio y largo plazo.	Años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.

TIPO DE MODELO	TIPO DE TRANSPORTE	EJEMPLOS	TIPO DE EROSIÓN	ESCALA DE APLICACIÓN HABITUAL Y TIPO DE ANÁLISIS MÁS APROPIADO
Modelos físico-empíricos				
Perfil de equilibrio y campañas de medida	Transversal debido al aumento del nivel medio del mar.	Atkinson et al. (2018)	Retroceso de la línea de costa a largo plazo.	Años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
Evolución del perfil de equilibrio, una línea y datos de satélite	Transversal debido a la energía del oleaje y al aumento del nivel medio del mar; longitudinal debido al oleaje y otras fuentes y sumideros.	Vitousek et al. (2017); Álvarez-Cuesta et al. (2021)	Cambio en la línea de costa a corto, medio y largo plazo.	Eventos, años y décadas. Cualquier escala espacial. Cualquier tipo de análisis.
Modelos de procesos (numéricos)				
Conservación de masa y de momento de flujo y sedimento	Transversal (modo 1D) o transversal y longitudinal (modo 2DH) debido al oleaje y al nivel del mar.	XBEACH (Roelvink et al., 2009)	Cambio en la geometría del perfil (duna incluida) a corto plazo.	Eventos. Escala espacial local o regional. Determinista, múltiple determinista, basado en conjuntos o probabilístico*.

Cuadro 13.

Ejemplo de caracterización de la erosión costera Nivel 3.

Ejemplo de caracterización de la erosión costera Nivel 3

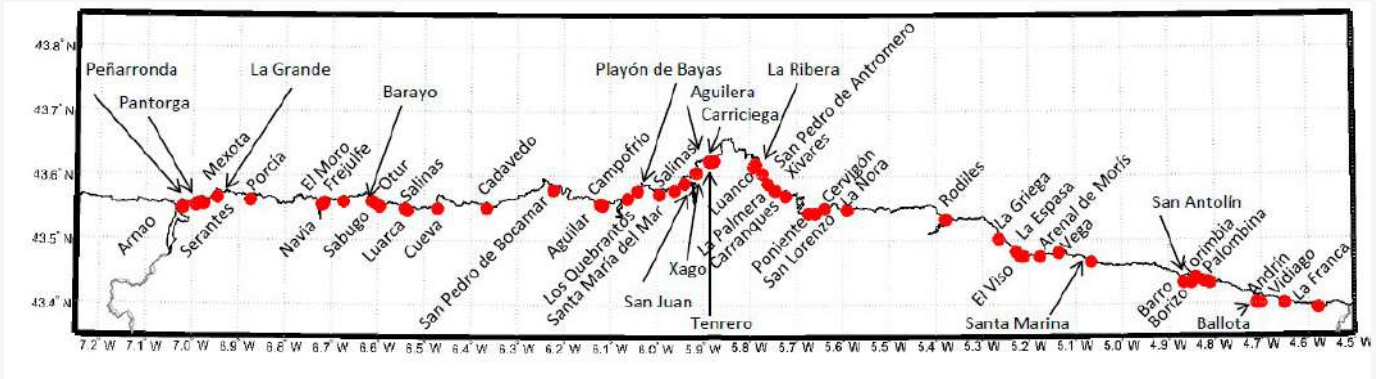
El **primer paso** para realizar una caracterización de la inundación costera Nivel 3 es la selección de la estrategia de modelado que se va a aplicar; que depende, entre otros factores, de la escala geográfica, de la tipología de las playas objeto de estudio, de los datos disponibles y del tipo de análisis estadístico que se desee realizar. En este ejemplo se ha escogido un tramo de costa de 350 km en el Principado de Asturias (norte de España) con 57 playas encajadas de más de 200 m de longitud y cuyo sedimento es arena (Figura A). Los gradientes en el transporte

longitudinal se han considerado despreciables y se ha asumido que los procesos litorales transversales de corto plazo son los que rigen las variaciones estacionales e interanuales de estas playas y que el ANMM producirá el retroceso de la línea de costa media de las mismas a escala multidecadal. Además, y dada la incertidumbre asociada a los procesos litorales y a la respuesta de la línea de costa, en este ejemplo, se ha determinado realizar un análisis probabilístico de la erosión. La estrategia escogida, por tanto, aúna las siguientes características:

- Escala regional.
- Escala temporal desde eventos extremos (temporales) hasta múltiples décadas.
- Transporte transversal de corto y largo plazo.
- Análisis probabilístico de la erosión.

Cuadro 13. Figura A.

Localización espacial de las 57 playas encajadas de la costa del Principado de Asturias (España) analizadas en este ejemplo.



El **segundo paso** es la selección del modelo de erosión que se va a aplicar. El modelo escogido debe ser compatible con las características del caso de estudio (escala espacial, escala temporal, procesos litorales dominantes y tipo de análisis estadístico). En este ejemplo, se ha seleccionado el modelo de evolución de la línea de costa propuesto por Toimil et al. (2017). Este modelo integra el modelo de evolución del perfil de equilibrio de Miller y Dean (2004) y el efecto Bruun (1962).

El modelo escogido se basa en la observación general de que la línea de costa tiende exponencialmente a alcanzar una posición de equilibrio cuando está sujeta a forzamientos constantes, de acuerdo con la siguiente ecuación diferencial de gobierno:

$$\frac{dy(t)}{dt} = k(y_{eq}(t) - y(t)) \tag{1}$$

donde $y(t)$ es la posición de la línea de costa en el tiempo t ; $y_{eq}(t)$ es la posición de equilibrio determinada por el forzamiento en el tiempo t ; y k es la constante que gobierna la velocidad a la cual la línea de costa se aproxima al equilibrio.

La posición de equilibrio de la línea de costa y_{eq} está gobernada en cada instante por el cambio en la línea de costa de equilibrio Δy_{eq} y por el retroceso inducido por el ANMM (R_{Bruun}), que únicamente se activa para simulaciones de la evolución de la línea de costa futuros:

$$y_{eq}(t) = \Delta y_0 + \Delta y_{eq}(t) + R_{Bruun}(t) \quad (3)$$

donde Δy_0 es un parámetro empírico; y Δy_{eq} responde a los movimientos de erosión o acreción de la línea de costa con respecto al equilibrio.

Asumiendo la teoría del perfil de equilibrio, Miller y Dean (2004) propusieron una ecuación empírica en la que los cambios en la línea de costa de equilibrio (Δy_{eq}) se expresan como combinación del set-up del oleaje y la marea astronómica. No obstante, y dada la importancia de la marea meteorológica en algunas playas (i.e., playas macromareales), ésta se ha incorporado como término adicional. A este respecto, cabe puntualizar que, lejos de inducir una tendencia erosiva del perfil, el efecto de la marea astronómica acentúa los procesos erosivos y lleva a acreciones más rápidas. Así, su consideración permite reproducir mejor el comportamiento de las playas en las que esta dinámica es dominante. Por lo tanto, Δy_{eq} se puede expresar como:

$$\Delta y_{eq}(t) = -W^*(t) \left(\frac{0.106H_b(t) + MM(t) + MA(t)}{B + 2H_b(t)} \right) \quad (4)$$

donde W^* es el ancho del perfil activo; H_b es la altura de ola de rotura; y B es la altura de la berma.

Finalmente, el retroceso de la línea de costa debido al ANMM se obtiene mediante el cálculo del efecto Bruun a través de la siguiente expresión.

$$R_{Bruun}(t) = W^* \left(\frac{ANMM(t)}{B + h^*} \right) \quad (5)$$

donde h^* es la profundidad de cierre del perfil activo (el límite a partir del cual el oleaje deja de influir en la forma del perfil), que depende de la altura de ola superada, de media, 12 horas al año ($H_{S_{12}}$).

Los parámetros W^* , B , h^* y $H_{S_{12}}$ y las propiedades del oleaje en rotura pueden calcularse de acuerdo con lo que se indica en el ejemplo de análisis de la erosión Nivel II de esta Guía.

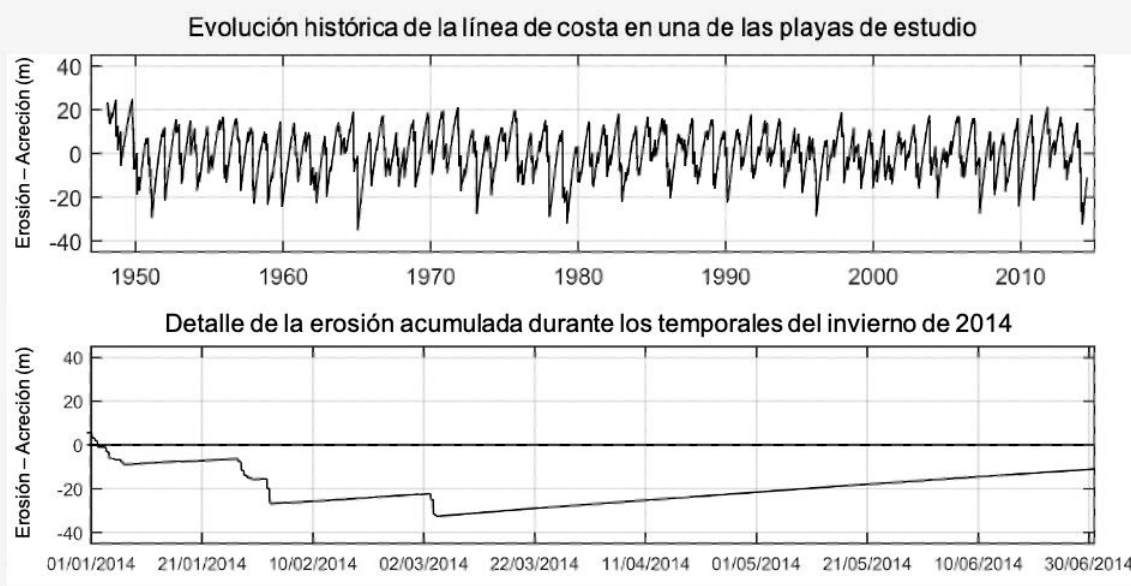
El **tercer paso** es la discretización de la costa en perfiles, la recopilación de las bases de datos de los forzamientos y la calibración del modelo seleccionado en el periodo histórico. Tal y como se especifica en el ejemplo de análisis de la erosión Nivel II de esta Guía, los perfiles, que deben extenderse desde la h^* hasta la berma, deben orientarse de acuerdo con la dirección del flujo medio de energía del oleaje y tener el mismo nivel de definición que los forzamientos que, en este caso, son el ANMM, el oleaje, la marea meteorológica y la marea astronómica. El modelo de evolución de la línea de costa escogido se fuerza con series temporales de estas dinámicas.

Un aspecto importante es la calibración de la tasa k a la que la línea de costa migra hacia la posición de equilibrio (Eq. 1) y que adopta valores distintos si el proceso es de erosión o de acreción. Esta tasa puede considerarse variable (p.ej., proporcional a

H_b^2 o a H_b^3) o constante, que es su forma más simple. Para determinar su valor, es decir, para calibrar el modelo, es necesario disponer de datos de campo o de datos de satélite o de otras fuentes y ajustar la serie simulada a esas observaciones. Se recomienda, al menos, disponer de información de varios eventos y, en caso de considerar k constante, utilizar un valor medio. La Figura B muestra, para este ejemplo, la evolución histórica horaria de la línea de costa en una de las playas de estudio (panel superior) y el detalle de esa evolución durante el primer semestre de 2014 (panel inferior), periodo en el que se calibró el modelo. La evolución de la línea de costa que se obtiene tras la implementación del modelo tendrá la misma cobertura temporal y resolución que las series de las dinámicas empleadas como forzamientos. Por ejemplo, para calibración, en este caso, se emplearon series históricas horarias de oleaje y nivel del mar de 1947 a 2015.

Cuadro 13. Figura B.

Panel superior: ejemplo de evolución histórica de la línea de costa de 1947 a 2015 en una de las playas del Principado de Asturias (España). Panel inferior: detalle de la serie que se muestra en el panel superior desde enero a junio de 2014.



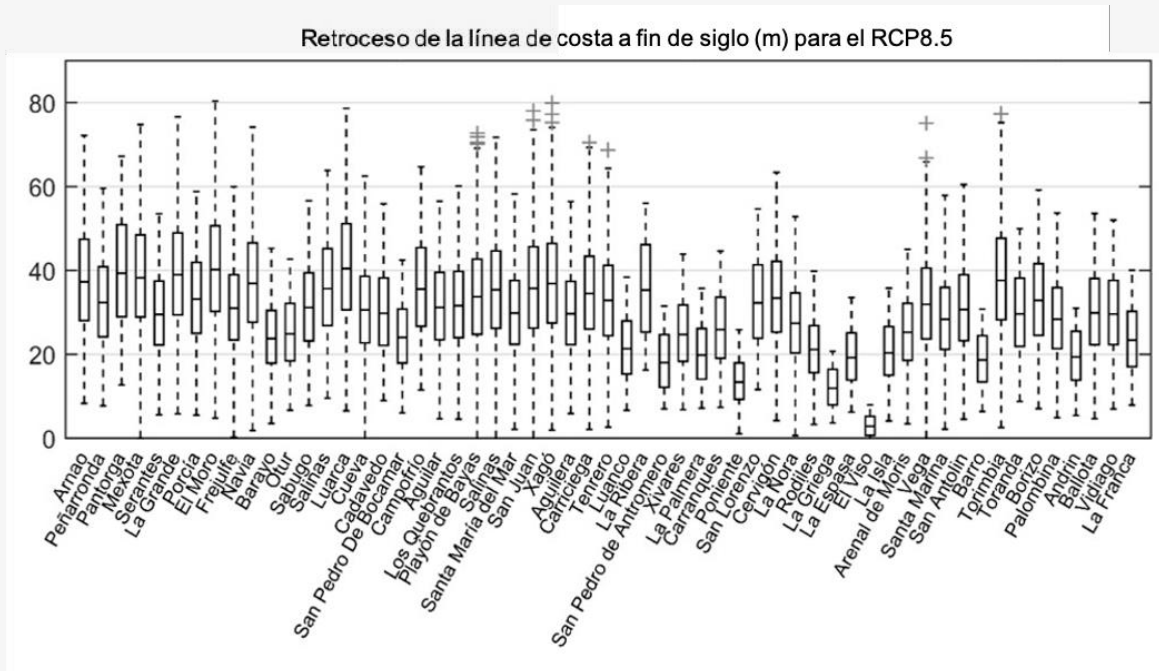
El **cuarto paso** es la aplicación del modelo para el periodo futuro. Dada la naturaleza del impacto de erosión y la incertidumbre que tiene asociada (p.ej., debida a las proyecciones de los forzamientos y a la complejidad de los procesos litorales), este ejemplo muestra el análisis probabilístico de la erosión futura en las 57 playas consideradas. En este caso, se han realizado proyecciones estadísticas de oleaje y marea meteorológica que arrojan cambios muy pequeños en los estadísticos de esas variables. Por ello, se ha decidido continuar trabajando con las series históricas en el futuro. No obstante, dado que asumir que esas dinámicas conserven su función de densidad de probabilidad en el futuro no implica que no puedan tener distintas cronologías que den lugar a distintos eventos extremos de erosión, se han generado de forma sintética 1000 series multivariadas de oleaje y marea meteorológica en cada playa. Además, se ha

muestreado la incertidumbre en el ANMM considerando 3 trayectorias posibles para cada escenario correspondientes a la media más/menos la desviación típica de valores de ANMM. Esta combinación ha dado lugar a 3000 potenciales evoluciones horarias de la línea de costa de 2010 a 2100 para cada escenario en cada playa.

El **quinto paso** es la representación de los resultados y la comunicación de la incertidumbre asociada. Como ejemplo de los resultados que que pueden obtenerse, la Figura C muestra la variabilidad espacial del percentil del 75%, la mediana y el percentil del 25% del retroceso a fin de siglo de las 57 playas del Principado de Asturias para el RCP8.5. Ese retroceso estructural en 2100, denotado como R2100, se ha calculado en cada playa sustrayendo la posición media inicial de los primeros 5 años de la posición media final de los últimos 5 años.

Cuadro 13. Figura C.

Distribución espacial del retroceso de la línea de costa a fin de siglo (R2100,m) en las 57 playas del Principado de Asturias (España) de E a O con su incertidumbre.

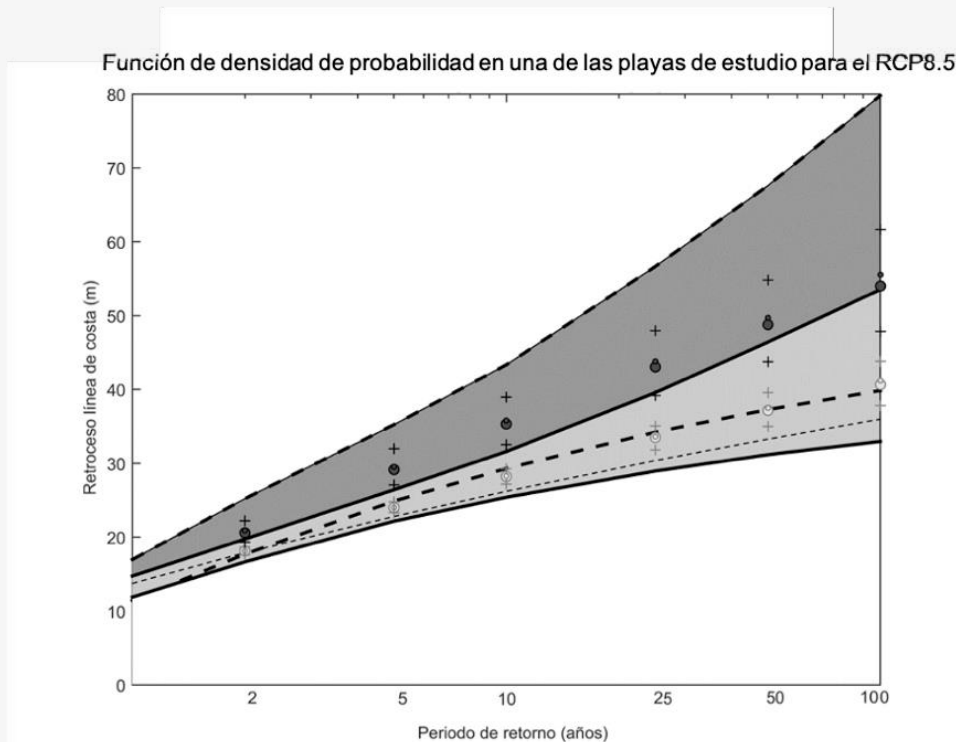


El hecho de trabajar con miles de series largas de evolución de la línea de costa permite obtener la función de distribución de probabilidad del retroceso en cada playa de estudio, tal y como se muestra en la Figura D para una de las playas consideradas en este ejemplo. En este caso, la banda sombreada oscura (entre líneas gruesas punteadas) representa los intervalos de confianza del 95% del ajuste de extremos (GEV) realizado a las 3000 series de evolución de la línea de costa simuladas de 2010 a 2100; la banda sombreada clara (entre líneas gruesas continuas)

representa los intervalos de confianza del 95% del ajuste GEV realizado a las 1000 series de evolución de la línea de costa simuladas de 2010 a 2100 sin ANMM; la línea fina punteada representa el ajuste GEV realizado a las series históricas de evolución de la línea de costa de 1967 a 2014; los círculos negros y grises grandes son las medianas; los círculos negros y grises pequeños son los valores medios; y las cruces negras y grises corresponden a la media más/menos la desviación típica.

Cuadro 13. Figura D.

Ejemplo de función de distribución de la probabilidad de erosión en una de las playas de estudio para el RCP8.5 con su incertidumbre.

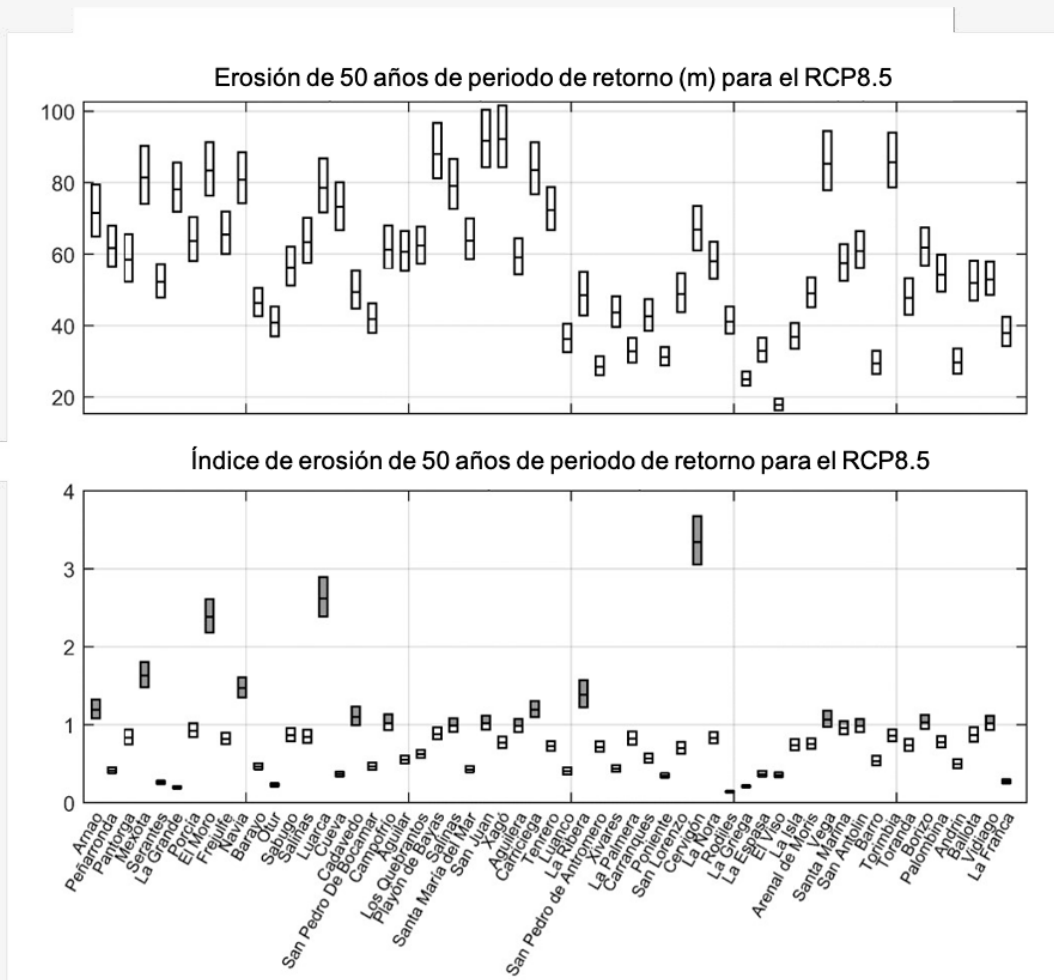


Finalmente, la Figura E muestra el ejemplo de la distribución espacial del percentil del 75, la mediana y el percentil del 25% del evento de erosión de 50 años de periodo de retorno (panel superior) e índice de erosión asociado en cada playa del Principado de Asturias para el RCP8.5 en 2100. El índice de erosión

se calcula como el cociente entre un retroceso (p.ej., correspondiente a un percentil de la distribución) y el ancho medio actual de la playa, proporcionando información acerca del nivel de criticidad de ese retroceso. Valores del índice de erosión superiores a 1 indican la desaparición de la playa (sombreado gris).

Cuadro 13. Figura E.

Panel superior: distribución espacial de la erosión de 50 años de periodo de retorno (m) a fin de siglo en las 57 playas del Principado de Asturias (España) de E a O con su incertidumbre. Panel inferior: índice de erosión asociado a la erosión de 50 años de periodo de retorno.



Cuadro 14.

Contribución: “Monitoreo participativo de la erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica”.

CONTRIBUCIÓN:

“Monitoreo participativo de la erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica”.

Gustavo Barrantes

Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Costa Rica.

La erosión costera, en particular sobre playas arenosas, representa uno de los efectos negativos del cambio climático, a consecuencia del ascenso del nivel del mar (Zhang et al., 2004; Ashton et al., 2008; Hinkel et al., 2013), así como del cambio en los patrones de las tormentas tropicales (Kossin et al., 2020) lo que altera la frecuencia, altura (y posiblemente la dirección) de los oleajes y su alcance en tierra.

Esta situación provoca una alta exposición social y económica en la denominada zona costera de baja elevación (terrenos a menos de 10m de altitud) (IPCC, 2019). Especialmente vulnerables resultan las comunidades que habitan esta zona al verse afectadas sus casas, infraestructura crítica y actividades económicas como la pesca y el turismo. Para proteger la infraestructura y la actividad turística se deben considerar grandes inversiones (Hinkel et al., 2013) lo que no siempre se justifica en un análisis de costo/beneficio, obligando a la planificación de medidas adaptación a mediano y largo plazo, como lo son las soluciones basadas en naturaleza y el ordenamiento territorial.

En la búsqueda de alternativas de adaptación y mitigación frente a la erosión costera es esencial conocer cómo y en que magnitud se lleva a cabo la erosión costera (Melet et al., 2020); estudios que

serán la base de una evaluación del riesgo y posterior plan de gestión de estos (Barrantes & Sandoval, 2021; Ricaurte-Villota et al., 2021).

Varias investigaciones han advertido sobre erosión costera en el Caribe costarricense (Barrantes, et al., 2020; Lizano, 2013; Lizano & Gutiérrez, 2011). Incluso se ha informado que el 23 % de la costa del Caribe Sur experimenta erosión (Barrantes & Sandoval., 2021). Frente a estos problemas de erosión costera son comunes las soluciones improvisadas especialmente cuando ocurren oleajes severos que hacen retroceder la línea de costa (Figura 1). Este tipo de actuaciones sobre la costa representan una pérdida de fondos públicos y evitan la búsqueda de soluciones más adecuadas.

En este sentido, La Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), por medio del Programa de Geomorfología Ambiental (PROGEA) en alianza con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) y el Área de Conservación la Amistad Caribe (ACLAC), inició un proceso de monitoreo de la dinámica costera por medio de perfiles de playa, en sitios considerados como hotspot de erosión de la costa Caribe de Costa Rica (Barrantes, et al., 2020). Un primer resultado de dicho monitoreo es el reconocimiento de una dinámica estacional de

la playa que se caracteriza por la reducción en el ancho de la playa a consecuencia del aumento en la energía del oleaje, durante el verano hemisférico, y su posterior reconstrucción hasta alcanzar su mayor anchura entre el verano y el otoño (Barrantes et al., 2021) (Figura 2). Así mismo, un trabajo de graduación en el que participó un funcionario de ACLAC y que fue dirigido por en el programa (Acosta, et al., 2020), realizado en playa Gandoca con esta misma técnica, permitió registrar el retroceso de la línea de costa y la transformación de la playa durante un pulso de erosión, lo que represento un hito en el país respecto al estudio de este tipo de procesos (Figura 3).

El interés del ACLAC por implementar indicadores del cambio climático que sustenten la toma de decisiones en materia de adaptación al mismo, así como el reconocimiento de la importancia de estos primeros resultados, llevaron al desarrollo de un proyecto conjunto PROGEA-ACLAC en el Caribe Sur, por medio del cual el PROGEA capacitó a funcionarios y colaboradores del Área de Conservación, para la implementación de un monitoreo más extenso espacial y temporalmente, que les permita documentar la transformación de las playas frente al cambio climático.

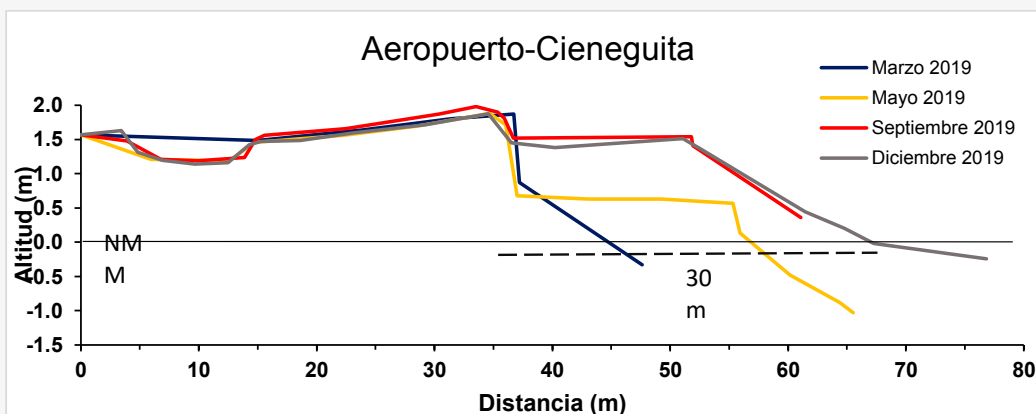
Figura A.

Ejemplificación de un caso de la erosión costera, Cieneguita de Limón (Costa Rica).



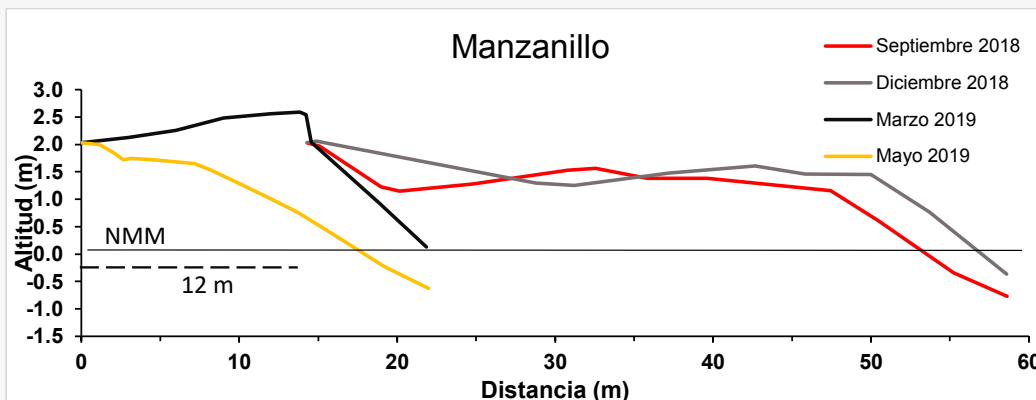
Figura B.

Medición de perfiles de playa realizados por PROGEA en Playa Cieneguita, frente al Aeropuerto Internacional de Limón (Costa Rica), durante 2019.



Cuadro 14. Figura C.

Medición de perfiles de playa realizados en Playa Gandoca, a 130 m al noroeste de la entrada a la playa, durante 2018 y 2019.



En diciembre de 2021 se realiza la capacitación en el levantamiento de perfiles de playa que culmina con y la selección de nueve sitios de muestreo desde Westfalia hasta Gandoca (Cuadro 1). Con esta acción inicia un proyecto de monitoreo que procura levantar perfiles

una vez al mes, junto con la recogida de muestras de arena y el registro de las condiciones del mar al momento de la toma de los perfiles. Este monitoreo permitirá, en primera instancia, registrar el ciclo de playa (acortamiento y alargamiento estación del perfil

de playa como resultado del clima de oleaje) lo que hará posible su diferenciación de lo que es propiamente la erosión de la playa. A mediano plazo (años) este registro permitirá identificar tendencias y comprender la transformación de la playa identificar las vulnerabilidades presentes y fundamentar la elección de las acciones mitigación y adaptación.

Actualmente, se han realizado un total de ocho campañas de medición, durante las cuales los funcionarios del ACLAC han levantado en total 72 perfiles durante un año de medición. Durante este mismo año y aparados en el proyecto de colaboración PROGEA-UNA, se

realizó una nueva capacitación al ACLAC para la construcción de gráficas de perfiles (como el que se presenta en la figura 3) y su interpretación, para alentar la autonomía del SINAC y fortalecer la colaboración entre ambas instituciones.

La primera actividad planteada para enero de 2023 es la realización de un taller con los funcionarios encargados de la medición y las comunidades donde se realiza la misma, en el cual se presentan los resultados de un año de medición, se discuta su relevancia y la necesidad de la participación comunal para su continuidad en el tiempo.

Sitios de monitoreo de ACLAC

Punto	Cantón	Distrito	Lugar	Norte	Este	ASP
1	Limón	Matama	Westfalia	1098475	609442	Fuera
2	Limón	Valle La Estrella	Playa Bananito	1090195	615848	Fuera
3	Talamanca	Cahuita	Playa Grande	1079169	624286	Fuera
4	Talamanca	Cahuita	Playa Blanca	1076595	628056	PNC
5	Talamanca	Cahuita	Puerto Vargas	1076428	630122	PNC
6	Talamanca	Cahuita	Río Carbón	1070655	632334	PNC
7	Talamanca	Cahuita	Playa arrecife	1066432	644412	RNVSGM
8	Talamanca	Cahuita	Playa almendros y corales	1065405	645782	RNVSGM
9	Talamanca	Sixaola	Gandoca	1061352	653245	RNVSGM

Fuente: Plan de acción ACLAC-PROGEA, 2022.

El registro por medio de perfiles de playa complementa la vivencia en las comunidades costeras donde la erosión representa un problema real que les afecta seriamente su modo de vida y la infraestructura pública expuesta (Acosta, et al., 2020; Rojas, 2020). Al observar las mediciones que se realizan periódicamente, las personas de las comunidades dentro y fuera de las Áreas Silvestres Protegidas se han interesado en sumarse al levantamiento de sus propios perfiles, con lo que no solo se promueve la participación, además se impulsa la geoalfabetización un modelo de ciencia ciudadana. En otras palabras, se empodera a las comunidades en la comprensión

de los procesos costeros por medio de la medición de la erosión y el monitoreo de la dinámica de playa, asegurando una mayor densidad de datos para el análisis científico del proceso. De esta forma se retroalimenta la percepción del riesgo sobre este fenómeno, se realiza una documentación científica del mismo, se inicia un diálogo de saberes y se brindan insumos para la toma de decisiones sobre las actuaciones en la costa en la búsqueda de soluciones a corto, mediano y largo plazo, por parte de las comunidades, los gobiernos locales, las instituciones públicas y el ente oficial encargado de la gestión del riesgo (CNE).

Paso 5

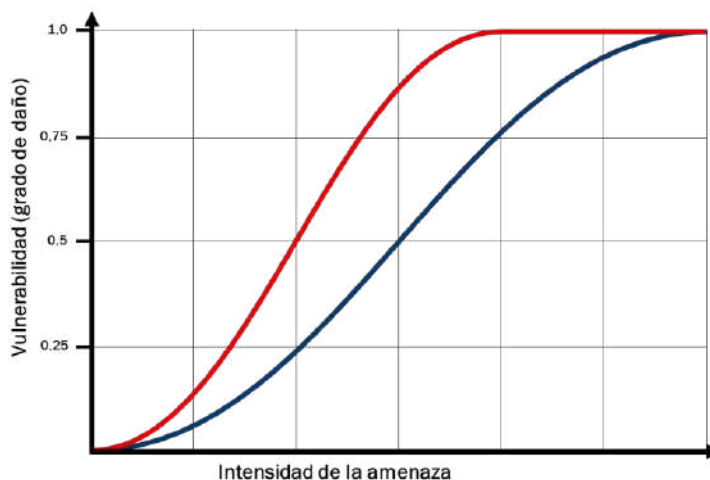
Caracterización de la vulnerabilidad. Funciones de daño.

La caracterización de la vulnerabilidad en Nivel 3 implica el uso de funciones de daño. Una función de daño relaciona la peligrosidad con el daño que supone cada uno de los niveles de intensidad de la misma sobre la exposición. Sobra decir que las funciones de daño son específicas para cada par peligrosidad-exposición. No es la misma función aquella que representa la vulnerabilidad de una edificación frente a la inundación costera, que aquella que se utiliza para caracterizar la respuesta de la población frente a vientos.

La Figura 25 representa unas funciones de daño cuantitativas genéricas mostrando una vulnerabilidad (p.ej. un grado de daño) como una función de la intensidad de la amenaza. La curva roja representa un elemento más vulnerable, mientras que la azul representa un elemento menos vulnerable.

Figura 25.

Ejemplo de funciones de daño cuantitativas genéricas



Existen distintas tipologías de funciones de daño. En función de la variable que representa la peligrosidad o impacto, hay funciones monovariante, donde el grado de daño se parametriza con un solo atributo (p.ej., cota de inundación), y funciones donde se emplean más atributos (p.ej., cota de inundación y velocidad). En función de cómo se caracteriza el daño, existen también dos tipologías distintas de curvas de daño: las que expresan el daño relativo (que son las más habituales) y las que expresan directamente el daño monetario (más habituales por ejemplo en el Reino Unido).

Dentro del empleo de funciones de daño podemos distinguir dos niveles de detalle.

Estudio espacial detallado

A este nivel, se discrimina el impacto sufrido en función de la intensidad local del evento y se gradúa a través de una función simple lineal o polinómica que ajusta el nivel de la amenaza y el nivel de daño sufrido.

Estudio de alta resolución

En este nivel se emplean funciones de daño empíricas definidas a partir de los elementos locales identificados, o se emplean colecciones compiladas por instituciones oficiales como FEMA o JRC. Para el caso de la población se emplean o bien funciones de conteo o funciones que expresan la probabilidad de muerte ante cambios en los parámetros de la peligrosidad.

En ambos casos, es importante tener en consideración que las funciones de daño representativas del escenario presente no son necesariamente las vigentes en el escenario futuro, a causa del proceso de aprendizaje de las sociedades y del impacto de las medidas de adaptación futuras.

Por último, es necesario contrastar los resultados obtenidos de la aplicación de las curvas propuestas con daños reales para evaluar la representatividad obtenida. Se trata de eliminar, o al menos acotar, la incertidumbre inherente al proceso seguido.

Al igual que en el caso de la exposición, existen referencias globales con información sobre funciones de daño que nos pueden ayudar en nuestros estudios. Algunas de ellas se recogen en la Tabla 41.

Tabla 41.

Fuentes de funciones de daño comúnmente utilizadas en análisis de riesgos

FUENTE

Hazus (FEMA)	https://www.fema.gov/hazus
USACE:	Depth Damage Functions / USACE USACE – Planning Community Toolbox: https://planning.erdc.dren.mil/toolbox/index.cfm
JRC:	HUIZINGA Jan, DE MOEL Hans, SZEWCZYK Wojciech, 2017, Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines. JRC
UK, fhrc	Flood and Coastal Erosion Risk Management Handbook and Data for Economic Appraisal 2020. Middlessex University

Es importante recordar que la vulnerabilidad hereda las condiciones de desagregación espacial que la exposición habrá definido, por lo que en ocasiones es necesario realizar un trabajo de combinación para caracterizar la vulnerabilidad del conjunto de elementos expuestos que combina activos de distinta susceptibilidad ante la amenaza.

Cuadro 15.

Derivación de curvas de vulnerabilidad.

Derivación de curvas de vulnerabilidad

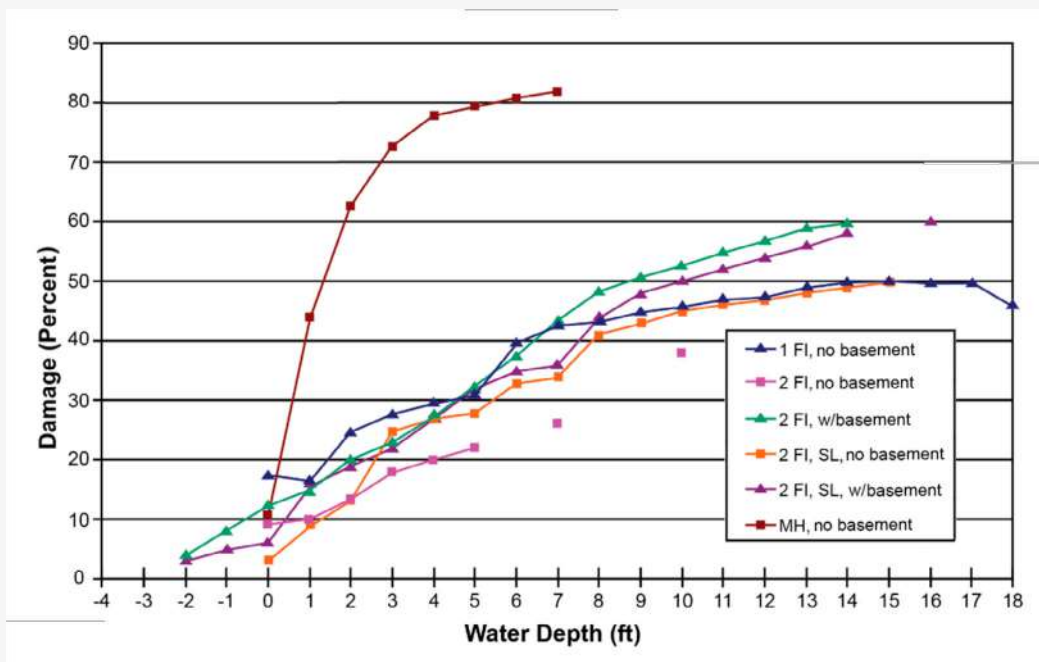
En este ejemplo se presentan las curvas de daño compiladas por FEMA y por JRC. En ambos casos se observa la diversidad de factores de daño para distintas alturas de inundación. Las principales variables son el calado de inundación y velocidad.

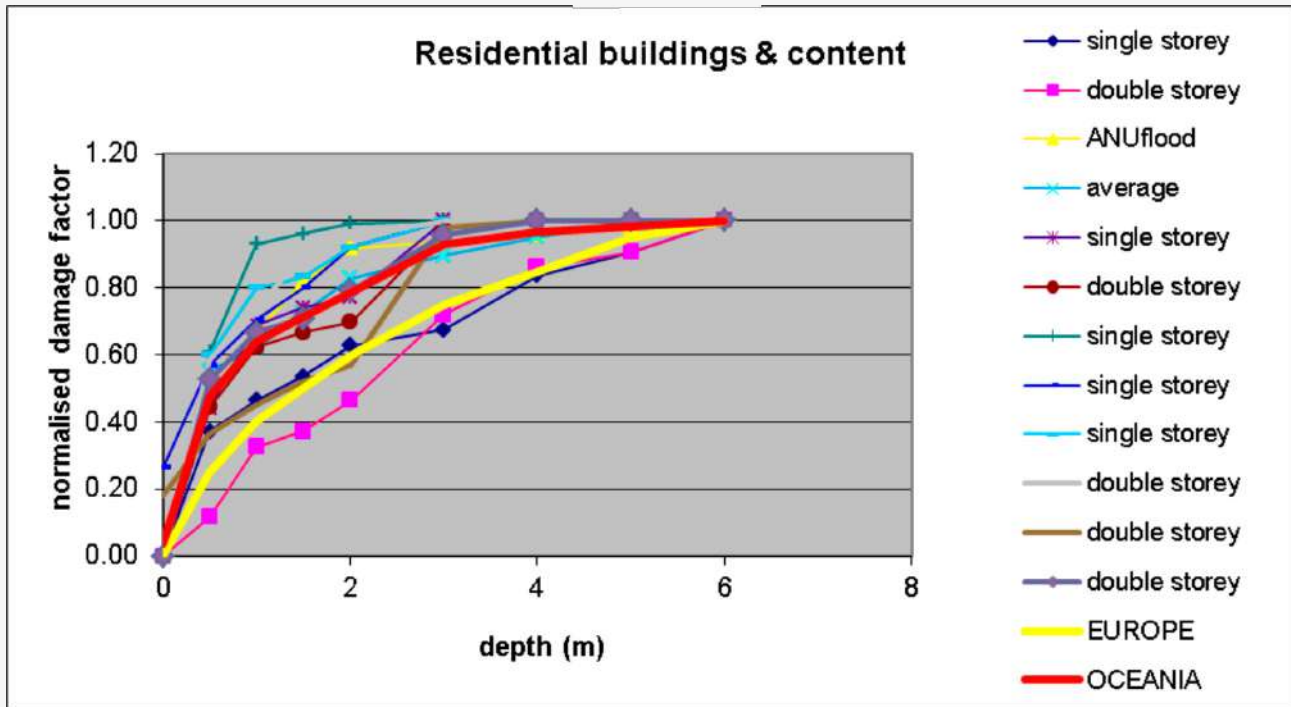
que diferencian las curvas son: Altura, Cimentación, Estructura, N° de alturas respecto de los edificios, junto con las características de la inundación lenta o rápida. Los factores de daño aplicados a los valores característicos de la exposición caracterizan el valor de lo destruido por, lo que hablamos de funciones relativas de daño.

La diversidad de curvas responde a las distintas tipologías residenciales y no residenciales. Las variables

Cuadro 15. Figura A.

Ejemplo curvas de daño FEMA y JRC.





Paso 6

Cálculo del riesgo y consecuencias. Identificación de daños esperados y oportunidades.

El cálculo del riesgo en Nivel 3 implica determinar la distribución espacial y temporal de los daños, cuya magnitud viene determinada por la distribución de la probabilidad de daño existente en las diferentes categorías de exposición.

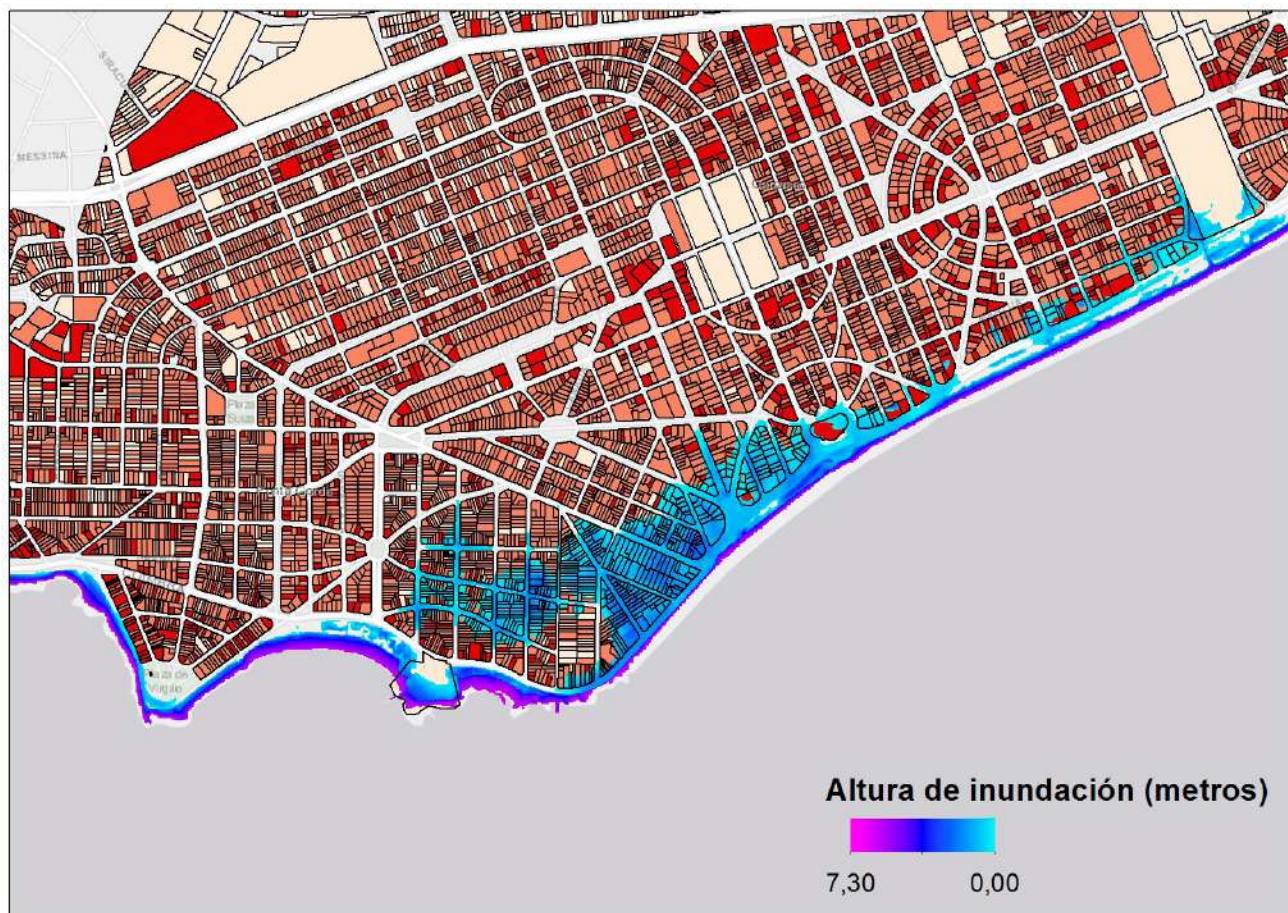
Tal y como se ha definido anteriormente en el documento, el riesgo resulta de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y la peligrosidad, y en este Nivel 3, lleva asociado una determinada probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno, T_r). De esta manera, una vez obtenida la distribución espacial de la peligrosidad, esta se debe cruzar con los datos de exposición. Los valores de la peligrosidad en cada una de las unidades espaciales de trabajo se introducen en las funciones de daño correspondientes, obteniéndose un factor de daño, que, combinado de nuevo con la exposición, da finalmente el resultado esperado de las consecuencias del riesgo.

Cruzando las capas con la distribución espacial de la peligrosidad con las capas de exposición y la aplicación de la función de vulnerabilidad, se obtiene un conjunto de mapas de riesgo. La cuantificación de estos valores espaciales permite obtener complementariamente un conjunto de indicadores numéricos que sirven para analizar estadísticamente los resultados espaciales obtenidos. Así se pueden computar estadísticas como número de personas afectadas, valor de los daños sobre edificaciones, o estimación de la producción económica afectada.

La Figura 26 muestra el resultado de cruzar el mapa de inundación (peligrosidad-impacto) asociado a la CI de 100 años de periodo de retorno, para el horizonte 2100, RCP8.5, valor medio de ANMM, con la capa de activos construidos, incluyendo el stock residencial, industrial y de servicios (mapa de exposición) en Carrasco, Montevideo. El mapa de inundación ha sido obtenido mediante el modelo RFSM-EDA, recogido en la Tabla 34. Dicho ejercicio requiere, como ya se ha dicho, obtener la CI de 100 años de periodo de retorno para el horizonte temporal y escenario de emisiones descrito, así como la batimetría y modelo digital del terreno o los coeficientes de fricción asociados a los diferentes usos del suelo. La Figura muestra cómo la capa de inundación, con su profundidad correspondiente, inunda los diferentes activos considerados.

Figura 26.

Cruce del mapa de inundación asociada a la CI de 100 años de periodo de retorno, para el horizonte 2100, RCP8.5, valor medio de ANMM, con la capa de activos construidos (incluyendo el stock residencial, industrial y de servicios) (Carrasco, Montevideo).

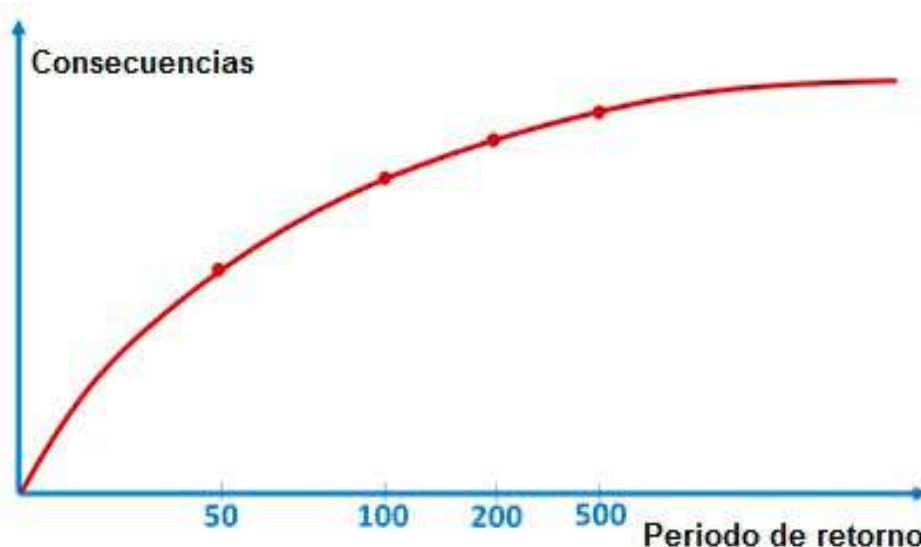


En el caso que se muestra, la cuantificación de las consecuencias es específica de un periodo de retorno asociado a la peligrosidad. Sin embargo, es habitual representar la información que se obtiene de las consecuencias calculadas, en una gráfica como la que se muestra en la Figura 27, en la que, para un activo determinado, un horizonte temporal y escenario, se obtienen los daños para cada periodo de retorno (p.ej., de 50 a 500 años). Como puede observarse en este caso, los eventos con mayores periodos de retorno son más improbables, pero producen daños mayores. Para mostrar la variabilidad de las consecuencias se pueden obtener indicadores sintéticos que permiten comparar el riesgo de forma más integrada. Para ello, uno de los

indicadores más utilizados es el Daño Anual Esperado (DAE), que expresa de forma anualizada los daños observados para distintos periodos de retorno, y que se calcula integrando el área bajo la curva (Olsen, 2015).

Figura 27.

Representación teórica de las consecuencias producidas por eventos de diferentes periodos de retorno sobre un activo determinado para un horizonte temporal y escenario dados.



Obsérvese que, en términos económicos, el Daño Anual Esperado (DAE) es el coste que se produciría en un año determinado si los daños económicos de todas las probabilidades y magnitudes de peligrosidad se repartieran por igual a lo largo del tiempo. Esto no significa que cada año se produzcan los mismos daños por la peligrosidad considerada.

El análisis de los diferentes indicadores de riesgo asociados a los activos puede ser expresado para distintas escalas espaciales. Aunque en general en Nivel 3 se obtiene la información con muy alta resolución espacial (mapas de peligrosidad y exposición de alta resolución), lo habitual es agregar la información a distintos niveles administrativos (nacional, regional, local, o incluso menor) para facilitar la visualización de los resultados.

Paso 7**Evaluación de la capacidad adaptativa**

La evaluación de la capacidad adaptativa en un estudio de Nivel 3 requiere la evaluación integral de las comunidades costeras en términos de su capacidad para ajustarse a los daños potenciales derivados del cambio climático, aprovechando las oportunidades y respondiendo a las consecuencias. A pesar de que la capacidad adaptativa es parte de la vulnerabilidad y, por tanto, podría incluirse en el análisis cuantitativo del riesgo; es habitual analizar a posteriori cómo la capacidad de adaptación puede modificar el riesgo. Esto se debe a la complejidad de integrar en un análisis de riesgos aspectos económicos, sociales, tecnológicos o de gobernanza.

Como ya se ha mostrado en pasos similares de los niveles de análisis anteriores, para hacer un análisis de la capacidad adaptativa en la costa hay que analizar, como mínimo, 3 componentes clave que son la capacidad organizativa, la capacidad tecnológica y la capacidad financiera. Estos factores desempeñan un papel importante en la preparación y respuesta de las comunidades costeras ante los desafíos presentes y futuros.

En este caso se va a extender la información sobre la base del caso del análisis de riesgos Nivel 3 realizado para la costa del Área Metropolitana de Lima-Callao.

Capacidad organizativa

La capacidad organizativa implica la facultad de las instituciones locales y los actores relevantes para coordinar y gestionar eficazmente las acciones relacionadas con la adaptación en la costa. Incluye la existencia de marcos legales y políticas, así como la participación de la comunidad en la toma de decisiones y la implementación

de medidas adaptativas. La Tabla 42 muestra un conjunto de componentes clave para la evaluación del desempeño de la capacidad adaptativa organizativa. Además, se incluyen distintas formas de evaluación y de mejora.

A modo de ejemplo, dentro del Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima (AML), se realizó un estudio de la capacidad organizativa que puso de manifiesto que en la gestión de la adaptación costera confluyen cuatro entes: el Ministerio del Ambiente (MINAM), administraciones regionales, administraciones locales y distritales y la Autoridad Marítima Nacional. Por una parte, el Ministerio del Ambiente (MINAM) tiene las competencias de cambio climático y adaptación, aunque tras la descentralización y reasignación de competencias tras la Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 16 de las 25 regiones del país cuentan o desarrollan sus propias estrategias del cambio climático, asumiendo así funciones que antes recaían en sectores del gobierno nacional. Igualmente, agentes regionales y locales realizan avances en la incorporación del cambio climático en sus planes y proyectos mediante la identificación de riesgos y el diseño de medidas de adaptación. Sin embargo, la gestión del territorio costero recae en la Autoridad Marítima Nacional.

Esto lleva a que, desde un punto de vista de la capacidad organizativa, existan ciertos problemas y vacíos de gestión por la fragmentación existente en las competencias. Estos son evitados mediante mecanismos de gestión entre los agentes involucrados permitiendo el desarrollo de proyectos de forma coordinada. Un ejemplo es la Autoridad del Proyecto Costa Verde (APCV). La APCV es un órgano descentralizado de la Municipalidad Metropolitana de Lima, conformado por distintos entes públicos provinciales y municipalidades, así como un representante de INVERMET (Fondo Metropolitano de Inversiones).

Tabla 42.

Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa organizativa, formas de evaluación y de mejora.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA ORGANIZATIVA	FORMAS DE EVALUACIÓN	FORMAS DE MEJORA
Gobernanza	Medida de la fragmentación vertical y horizontal de la gobernanza por la diversidad de las administraciones implicadas, así como de la efectividad de su colaboración y coordinación.	Creación de comités o grupos de trabajo interinstitucionales para promover la coordinación y la colaboración en la gestión costera. Facilitar el intercambio de información entre instituciones.
Resiliencia institucional	Cuantificación de la capacidad de las instituciones para adaptarse y responder a los cambios y desafíos, incluyendo la capacidad de gestión de crisis y la flexibilidad para ajustar políticas y estrategias.	Fomento de la flexibilidad y la adaptabilidad en las políticas y estrategias, fortaleciendo las capacidades de gestión de crisis y la preparación ante eventos extremos.
Planificación estratégica	Medida de la existencia y aplicación de planes que aborden la adaptación en la costa incluyendo objetivos, acciones y asignación de recursos.	Desarrollo y actualización de planes de adaptación en la costa que incluyan objetivos claros, metas alcanzables y plazos realistas acompañados de mecanismos de seguimiento y evaluación.
Participación de agentes implicados	Evaluación de la inclusión y participación de diferentes actores y partes interesadas en el proceso de toma de decisiones y acciones relacionadas con la adaptación costera.	Establecimiento de espacios de diálogo y participación de los actores implicados, facilitando la representación equitativa de los diversos grupos y sectores de la sociedad.
Recursos humanos	Número de especialistas en adaptación al cambio climático en la costa en las administraciones competentes.	Fortalecimiento institucional mediante formación específica y actividades de concienciación interna.

Capacidad tecnológica

La capacidad tecnológica se refiere a la disponibilidad y el acceso a tecnologías innovadoras que faciliten la adaptación de la costa. Esto puede abarcar desde sistemas de monitoreo y alerta temprana hasta soluciones de infraestructura sostenible como diques y barreras costeras, diseñadas para proteger las áreas más expuestas a erosión e inundación. La Tabla 43 muestra un conjunto de componentes clave para la evaluación del desempeño de la capacidad adaptativa tecnológica. Además, se incluyen distintas formas de evaluación y de mejora.

En el estudio realizado dentro del Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima, no parece que la mayor parte de proyectos y actuaciones que se han implementado o vayan a implementarse en la costa en el corto plazo, hayan

introducido entre sus condiciones de diseño los efectos del cambio climático. Dado que muchas de estas intervenciones tienen una larga vida útil, es esperable que, por ejemplo, algunos de los rellenos o infraestructuras de protección puedan tener problemas en su funcionalidad y estabilidad a lo largo de su vida útil. Con respecto a las capacidades tecnológicas del sistema, se ha observado que los principales agentes tienen un conocimiento adecuado de las tecnologías disponibles y de su aprovechamiento. Un ejemplo es la generación de un nuevo modelo digital del terreno (MDT) o la amplia base de datos cartográfica de la que se dispone. Sin embargo, existen lagunas importantes, especialmente en lo referido a las dinámicas marinas para estudios de inundación y de erosión que generan dependencias externas para abordar estudios e intervenciones en la zona costera. A pesar de ello, no parece que haya ninguna opción tecnológica que no sea abordable por los agentes gubernamentales involucrados siempre que se cuente con la financiación necesaria.

Tabla 43.

Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa tecnológica, formas de evaluación y de mejora.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA TECNOLÓGICA	FORMAS DE EVALUACIÓN	FORMAS DE MEJORA
Acceso a tecnología	Cuantificación de la disponibilidad y acceso a tecnologías adecuadas como sistemas de monitoreo, bases de datos de dinámicas presentes, futuras y observaciones, modelos de impacto, metodologías de evaluación de riesgos y soluciones de infraestructuras resilientes	Mejora del acceso a tecnologías adecuadas mediante inversiones y búsqueda de alianzas estratégicas con instituciones de investigación y desarrollo. Establecimiento de programas de capacitación.
Innovación tecnológica	Medida del grado de adopción de tecnologías innovadoras para la gestión de riesgos costeros y adaptación.	Apoyo para la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras y para su transferencia entre los actores relevantes.
Capacidades técnicas	Evaluar las competencias técnicas y el conocimiento especializado dentro de las instituciones y actores involucrados en la gestión de la costa.	Promoción la formación y el fortalecimiento de los profesionales y técnicos involucrados.
Transferencia de tecnología	Medida de la capacidad de adquirir y aplicar tecnología proveniente de fuentes externas, así como la capacidad para transferir conocimientos y tecnología a otras comunidades o regiones.	Establecimiento mecanismos de colaboración y cooperación con instituciones y comunidades que ya hayan implementado tecnologías exitosas.
Monitorización tecnológica	Existencia y uso de sistemas de monitorización y evaluación tecnológica para medir la efectividad de las soluciones implementadas.	Creación sistemas de monitoreo y empleo de los resultados como apoyo a la toma de decisiones.

Capacidad financiera

La capacidad financiera es un factor clave en la implementación de estrategias de adaptación en la costa. Las comunidades costeras deben contar con recursos financieros adecuados para llevar a cabo investigaciones, desarrollar infraestructuras resilientes y promover la educación y concienciación sobre riesgos y adaptación. En la Tabla 44, se muestra un conjunto de componentes clave para la evaluación del desempeño de la capacidad adaptativa financiera. Además, se incluyen distintas formas de evaluación y de mejora.

Por ejemplo, en el estudio realizado dentro del del Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima, las principales fuentes de financiación destinadas a abordar la lucha contra el cambio climático en el Perú se agrupan en 3 bloques: recursos públicos (35% del total), recursos internacionales (35% del total) y recursos privados (30% del total). Englobando los distintos grupos de financiación, se estima una media anual de USD 655 millones destinados a políticas relacionadas con el cambio climático a nivel nacional que incluyen adaptación y mitigación. Sin embargo, hay varias cuestiones relevantes que sería necesario considerar como cuánta financiación ha sido dedicada a adaptación frente a mitigación, qué parte de los fondos de adaptación se han dedicado a aumentar la resiliencia de la costa, cuál ha sido el reparto de esos fondos entre las distintas administraciones y qué instrumentos financieros se han empleado para ejecutar los fondos. En el contexto del proyecto del Plan de adaptación costera del área Metropolitana de Lima, la mayor parte de las opciones de adaptación son esencialmente locales, por lo que la inversión necesaria debe ser abordada, competencialmente hablando, a nivel local. Sin embargo, es necesario reconocer que muchos de los riesgos costeros tienen factores en común, así como escalas de intervención que requieren una visión que supera el ámbito local, lo que podría justificar inversiones procedentes de escalas jerárquicas superiores en la administración.

Tabla 44.

Análisis de distintos componentes de la capacidad adaptativa financiera, formas de evaluación y de mejora.

COMPONENTE DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA FINANCIERA	FORMAS DE EVALUACIÓN	FORMAS DE MEJORA
Asignación de recursos	Medida de la cantidad y el tipo de recursos financieros asignados para la investigación, el desarrollo y la implementación de medidas de adaptación.	Promoción de la adaptación costera en los procesos de planificación y búsqueda de fondos adicionales a través de programas de cooperación, asociaciones público-privadas o iniciativas de financiamiento climático.
Diversidad de fuentes de financiación	Cuantificación de la capacidad de acceder a diferentes fuentes de financiamiento como fondos internacionales, nacionales, locales o programas de cooperación.	Establecimiento de alianzas estratégicas con organizaciones financieras y entidades de desarrollo y explorar mecanismos de financiamiento innovadores como bonos verdes.
Sostenibilidad financiera	Evaluación de la capacidad para generar y mantener recursos financieros a largo plazo para la adaptación de la costa considerando generación de ingresos locales.	Desarrollo de estrategias para diversificar las fuentes de ingresos locales para adaptación. Identificación de oportunidades para generar ingresos relacionados con la resiliencia costera, como el turismo sostenible o la economía azul.
Asociaciones público-privadas	Medida de la capacidad para establecer alianzas entre el sector público y privado para asegurar la disponibilidad de recursos y compartir la responsabilidad de la adaptación de la costa.	Fomento de la colaboración entre el sector público y privado, desarrollo de modelos de negocio sostenibles y creación de incentivos que promuevan la inversión privada en infraestructuras y tecnologías resilientes.
Acceso a instrumentos financieros	Evaluación de la capacidad de acceso a instrumentos específicos de adaptación, como fondos de inversión climática, seguros basados en el clima o bonos verdes.	Fortalecimiento de las capacidades institucionales para desarrollar propuestas de financiación sólidas y acceder a oportunidades de financiamiento competitivas.



FASE 2D. ELEMENTOS COMUNES A LOS 3 NIVELES

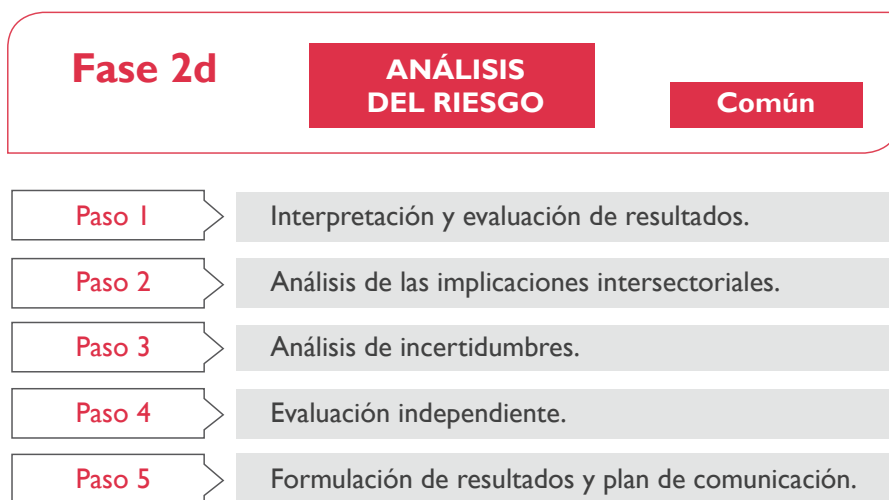
INTRODUCCIÓN

Para completar los tres niveles de análisis de riesgos, es necesario incluir un conjunto de Pasos adicionales, a saber:

- Paso 1. Interpretación y evaluación de resultados.
- Paso 2. Análisis de las implicaciones intersectoriales.
- Paso 3. Análisis de contribuciones.
- Paso 4. Evaluación independiente.
- Paso 5. Formulación de resultados y plan de comunicación.

Tabla 45.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 2d: Elementos comunes a los tres niveles



Aunque, como se ha dicho, los 5 pasos son aplicables a los Niveles 1, 2 y 3, a continuación, se va a desarrollar alguno de los Pasos para poder elaborar su aplicación a Nivel 3. Quiere esto decir que, aunque conceptualmente, el contenido de los pasos sea el mismo, el nivel de detalle o exigencia para Niveles inferiores será menor.

Paso 1

Interpretación y evaluación de los resultados

Este Paso tiene dos objetivos fundamentales. Por un lado, realizar una interpretación de los resultados obtenidos, con el fin de buscar elementos de verificación que permitan sustentar los mismos, consideradas las incertidumbres que llevan asociados (ver Paso 10). Por otro, evaluar si los resultados obtenidos son útiles para responder a las preguntas formuladas por los agentes interesados y satisfacen los objetivos planteados, así como evaluar las implicaciones de los mismos.

Estos dos elementos serán la base fundamental sobre la que se sustentará la Fase 3, en la que el objetivo principal pasará a ser la planificación e implementación de la adaptación.

El proceso de interpretación y evaluación de resultados debe realizarse por el equipo de proyecto conjuntamente con los responsables de la toma de decisiones y/o representantes de la entidad que ha solicitado la realización del análisis de riesgos y, si es posible, con otros agentes interesados.

Entre otros aspectos a considerar en la fase de interpretación y evaluación, se deberá responder a las siguientes preguntas:

- ¿El análisis de riesgos ha alcanzado los objetivos previstos?
- ¿Son los resultados cuantitativos consistentes con el análisis de criterio experto Nivel 1 o con el basado en indicadores Nivel 2?
- ¿Son los resultados coherentes con los riesgos y consecuencias experimentados en el pasado?
- ¿Se pueden identificar otros factores de origen no climático que pueden incrementar, reducir los riesgos calculados?
- ¿El nivel de incertidumbre (Paso 11) asociado a los resultados cuantitativos se considera aceptable para el proceso de toma de decisiones?
- ¿Cuáles son, entre los horizontes temporales y escenarios analizados, aquellos en los que el análisis de riesgos indica que se van a superar los niveles de riesgo admisible? ¿En qué zonas geográficas, sectores o actividades?
- ¿Se pueden identificar y priorizar aquellos ámbitos en los que la implementación de la adaptación será: más necesaria, urgente, eficaz, efectiva, robusta...?
- ¿Se pueden establecer objetivos de adaptación concretos? ¿En qué plazos y para qué escenarios de emisiones?
- ¿Qué estrategias de adaptación y opciones son las que mejor pueden responder a las necesidades de reducción de riesgos y en qué plazos?

- ¿Qué entidades deben ser las responsables de la implementación de las acciones de adaptación que parecen más adecuadas en función de las zonas geográficas o sectores en riesgo?
- ¿Cuáles pueden ser las posibles limitaciones o barreras a la hora de plantear el plan de adaptación?

A todas estas cuestiones se podrán agregar todas aquellas que se considere necesario responder antes de pasar a la Fase 3.

Paso 2

Análisis de las implicaciones intersectoriales

Salvo contadas excepciones, la mayor parte de los análisis de riesgos Nivel 3 ven limitado su alcance a un ámbito geográfico relativamente reducido, a un conjunto de impactos y amenazas de origen climático limitado y a los sectores principales seleccionados por la entidad responsable del análisis. Esto lleva a que muchos de los análisis de riesgos que se hacen en la costa sean incluso sectoriales abordando, por ejemplo, el riesgo sobre infraestructuras portuarias, el sector turístico, la población o aspectos meramente relativos a la configuración urbana o ecosistemas principales.

Sin embargo, y como se ha mostrado en el Paso 2 de la Fase 1, los diferentes sectores están muchas veces interrelacionados a través de cadenas de impactos que generan efectos en cascada y que pueden suponer un incremento notable de las consecuencias inicialmente calculadas. Por ello, y haciendo uso de las cadenas de impacto, suele ser altamente recomendable que el análisis de riesgos incluya una sección específica en la que, aunque de forma cualitativa y con criterio experto, se identifiquen las implicaciones e interdependencias entre sectores establecidos en la costa.

El objetivo de este Paso debe ser, cuanto menos, alertar a tomadores de decisiones y receptores de la información de que las consecuencias calculadas y los umbrales superados pueden desencadenar nuevos impactos que se transmitan entre sectores relevantes para la costa o que afecten a ecosistemas, inicialmente no considerados.

Por ejemplo, el blanqueamiento del coral y su mortalidad o la pérdida de coral por un huracán, pueden conducir a la erosión de la playa a mayor intensidad y frecuencia de inundación, lo que tendrá una doble consecuencia sobre el turismo. Por un lado, la pérdida de un recurso turístico como es la playa, pero también una doble pérdida de protección, la debida al coral y a la playa, con los consiguientes daños sobre activos turísticos localizados en la costa por una mayor probabilidad e intensidad de los episodios de inundación. Pero la pérdida del coral, también puede dar lugar a un incremento en la energía además de las dinámicas al abrigo del arrecife de coral, reduciendo las condiciones de habitabilidad de pastos marinos o manglares, lo que a su vez, tiene otras consecuencias.

De manera análoga, es importante detectar interrelaciones con otros procesos de origen no climático que pueden conducir a riesgos en cascada o nuevos riesgos.

La identificación, al menos de manera cualitativa, de estas interrelaciones, es importante.

Paso 3

Análisis de incertidumbres

Como en todo análisis de riesgos, aquellos correspondientes a los riesgos derivados del cambio climático no están exentos de incertidumbre. Es más, la incertidumbre asociada a las proyecciones climáticas, los largos horizontes temporales que se manejan y la multiplicidad de fuentes de incertidumbre en las diferentes componentes del riesgo, hacen el proceso, todavía más complejo. Pero lejos de utilizar la incertidumbre como un recurso para justificar la inacción, los análisis y la evaluación del riesgo en materia de cambio climático, deben identificar

con transparencia sus fuentes y las medidas que el conocimiento actual pone a nuestra disposición para que dicha incertidumbre llegue con claridad a los tomadores de decisiones.

A continuación, y, sin ánimo de ser exhaustivos, se identifican algunos factores dentro del análisis de riesgos derivado del cambio climático que contribuye a la incertidumbre en resultados y su evaluación. Algunos de ellos son comunes a cualquier otro análisis de riesgos, por lo que se pone más énfasis sobre el factor de incertidumbre fundamental en este caso que es el clima. Además del clima, se considera la incertidumbre en los siguientes factores: escenarios socioeconómicos; funciones de vulnerabilidad; calidad de la información base; modelos de impactos; análisis y evaluación de riesgos y estrategias de adaptación.

Las proyecciones de los impactos del cambio climático suelen desarrollarse siguiendo lo que se conoce como enfoque descendente. El enfoque descendente conlleva la realización de una serie de pasos a través de los cuales la información se transfiere de un paso a otro y, de la misma forma, lo hace la incertidumbre.

El primer paso es la generación de escenarios de emisiones de GEIs basados en trayectorias socioeconómicas y demográficas hipotéticas. A continuación, es necesario aplicar modelos biogeoquímicos para traducir los escenarios de emisiones en escenarios de concentraciones de GEIs y aerosoles, que es la información de partida que necesitan los GCMs para elaborar proyecciones climáticas a escala global.

En **el siguiente paso**, puede ser necesario regionalizar las proyecciones climáticas globales si lo que nos interesa es información regional o local, como es el caso de los análisis de Nivel 3. Como ya se ha dicho, esta regionalización puede realizarse mediante downscaling estadístico o downscaling dinámico (a través de RCMs) y el tipo de resultado obtenido de este proceso condicionará el modelado de impactos (series temporales futuras de las variables relevantes frente a cambios en diferentes estadísticos asociados a esas variables). Es importante señalar que los GCMs y RCMs no incluyen información de las dinámicas costeras, como el oleaje y la marea meteorológica, sino que proporcionan variables climáticas (p.ej., viento, presión al nivel del mar y

cobertura de hielo) que se utilizan para proyectar cambios futuros en estadísticos de oleaje (si se trata de downscaling estadístico) o como forzamiento de modelos numéricos de generación de oleaje o circulación oceánica para generar series temporales estas dinámicas (en el caso del downscaling dinámico).

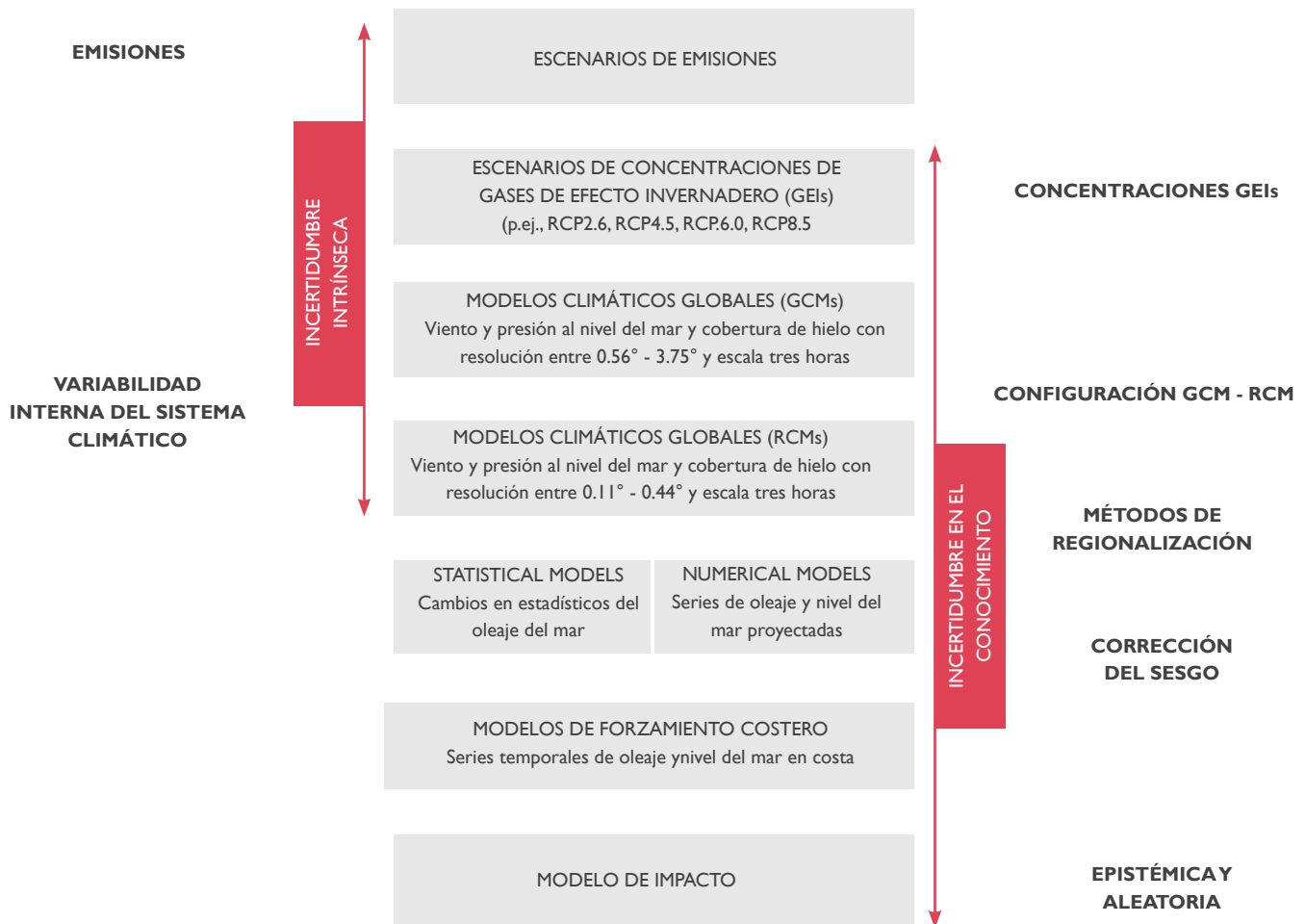
La selección de los GCMs y de los RCMs puede estar determinada por diferentes factores, por ejemplo, si las variables de interés proceden de la misma realización numérica, inicialización y física, si estas variables están disponibles para los escenarios y periodos de tiempo necesarios, y si permiten obtener series temporales de los forzamientos necesarios a la resolución requerida. Las series temporales resultantes requieren de corrección del sesgo. El sesgo de un modelo climático se puede definir como la diferencia sistemática entre una estadística climática simulada y la estadística climática del mundo real. Este sesgo puede ser debido a falta de resolución espacial, a simplificaciones de los procesos físicos y termodinámicos, a esquemas numéricos, a errores en las condiciones iniciales y de contorno y a la complejidad de los procesos climáticos, entre otros factores. Por lo general, eliminar esos sesgos es el primer paso hacia una información climática útil y, por lo tanto, un requisito previo para su uso posterior, por ejemplo, en estudios de impactos.

El **siguiente paso** en el enfoque descendente, es la aplicación de modelos de forzamiento costero regional, en el caso de que sea necesario llegar a escalas espaciales de detalle (p.ej., si es necesario transferir forzamientos costeros a pie de playa). Finalmente, los forzamientos costeros proyectados se utilizan para forzar modelos de inundación y erosión, así como de otros impactos, por ejemplo, para estimar la posible evolución de la línea de costa durante el periodo simulado. Idealmente, con estos modelos se deben realizar tantas simulaciones como sean necesarias para muestrear suficientemente la incertidumbre que se propaga en forma de cascada y se acumula a través de todos los niveles de la cadena de modelado. Esto se denomina cascada de incertidumbre.

La Figura 28 ilustra el enfoque descendente aplicado a la elaboración de proyecciones de cambio climático de impactos costeros y la cascada de incertidumbre asociada.

Figura 28.

Cascada de incertidumbre en la evaluación de impactos de cambio climático en la costa (adaptado de: Toimil et al., 2020)



En este proceso pueden identificarse dos tipos de incertidumbre: la incertidumbre intrínseca, que es inherente al problema (p.ej., el cambio climático), y la incertidumbre relativa al conocimiento, que se debe a nuestro conocimiento imperfecto de ciertos aspectos de ese problema. Por ejemplo, la incertidumbre asociada a los escenarios de emisiones y a la variabilidad interna del sistema climático se puede considerar intrínseca. El IPCC en el AR6 considera cinco escenarios SSPx-y correspondientes a cinco combinaciones de trayectorias socioeconómicas y emisiones de GEIs. Los SSPx-y incluyen acciones políticas implícitas para lograr objetivos de mitigación e ilustran diferentes niveles de forzamiento radiativo en el año 2100. La incertidumbre intrínseca asociada a la variabilidad climática se suele abordar a través conjuntos (del inglés, ensembles) de simulaciones transitorias y creíbles iniciadas en distintos momentos en el periodo de control. La incertidumbre

asociada al conocimiento se debe, entre otros factores a una representación aproximada de los procesos relevantes en modelos biogeoquímicos (incertidumbre en los escenarios de concentraciones) a diferentes descripciones de procesos dinámicos y físicos (incertidumbre en las configuraciones de GCM-RCM) a errores sistemáticos de los modelos (incertidumbre en el sesgo) a la aplicación de métodos de regionalización (incertidumbre en el downscaling) a la aplicación de modelos de impacto, dado nuestro conocimiento incompleto de los procesos que inducen estos impactos, así como a recursos de cómputo limitados (incertidumbre aleatoria y epistémica, respectivamente). La incertidumbre relativa al conocimiento debe reducirse tanto como sea posible a través de un mejor entendimiento de los procesos, mejores modelos y observaciones más frecuentes y de más calidad, entre otros aspectos. La incertidumbre intrínseca, en cambio, es irreducible. Para cada fuente de incertidumbre intrínseca es necesario considerar tantas posibles opciones como sea posible para muestrearla suficientemente.

Esta caracterización de la incertidumbre tiene su equivalente en los otros factores destacados con anterioridad. Por tanto, identificar para cada factor dónde están las fuentes de incertidumbre e implementar medidas para su tratamiento o reducción, así como la comunicación de este proceso, son esenciales para gestionar la incertidumbre de cara al proceso de toma de decisiones.

En la Tabla 46, se hace un resumen de los aspectos anteriores, mostrando algunos ejemplos de las medidas que se puede tomar para su tratamiento. Esta aproximación es aplicable a cualquier otro factor que pueda contribuir a la cascada de incertidumbre.

Tabla 46.

Fuentes de incertidumbre y posibles medidas orientadas a su tratamiento o reducción.

FACTOR	FUENTE DE INCERTIDUMBRE	MEDIDA PARA SU TRATAMIENTO/ REDUCCIÓN
CLIMA	Como es sabido, el clima futuro es altamente dependiente de la política de emisiones a escala global. Para definir un escenario de emisiones se utilizan GCMs y RCMs que simulan la evolución del clima de aquí al futuro. Existen diferentes escenarios de emisiones y diversos centros internacionales que desarrollan este tipo de modelado. Sin embargo, los propios modelos tienen sus incertidumbres y, al mismo tiempo, los escenarios no tienen asociada probabilidad alguna.	Se recomienda seleccionar tantos escenarios como sea posible combinando escenarios basados en modelos de procesos (escenarios conservadores pero probables) y escenarios H++ o de baja probabilidad y alto impacto (escenarios plausibles pero muy poco probables y que, en caso de ocurrir, producirían un impacto muy alto). Estos últimos ponen el análisis del riesgo de lado de la seguridad y

FACTOR	FUENTE DE INCERTIDUMBRE	MEDIDA PARA SU TRATAMIENTO/REDUCCIÓN
	<p>normalmente aplican al ANMM, tratando de cubrir la incertidumbre en el modelado de procesos y en el deshielo de Groenlandia y la Antártida, entre otros procesos.</p> <hr/> <p>Las proyecciones de ANMM cuentan con incertidumbres en varios procesos no suficientemente conocidos.</p> <hr/> <p>Las proyecciones de oleaje y marea meteorológica muestran cambios relativamente pequeños e importantes incertidumbres en la zona de estudio.</p> <hr/> <p>El cálculo de eventos extremos de inundación futuros viene condicionado por la estadística de extremos de las proyecciones de las dinámicas futuras que cuentan con una gran incertidumbre.</p>	<p>Para cada escenario de emisiones, se recomienda considerar diferentes trayectorias asociadas a diferentes percentiles. Por ejemplo, los percentiles 5, 50 y 95 de la distribución de los resultados de un conjunto de modelos climáticos permiten barrer un amplio rango de valores de ANMM. En cuanto al ANMM, es importante considerar, al menos, un escenario H++.</p> <hr/> <p>Considerar el uso de proyecciones de oleaje y marea meteorológica para diferentes GCMs o RCMs de forma que se tenga un rango más amplio de análisis de las posibles incertidumbres. Para un escenario dado y un conjunto de GCMs o RCMs, se puede trabajar con cada simulación de forma independiente, con la media del conjunto de todas las simulaciones o con la simulación pésima.</p> <hr/> <p>Si las proyecciones de oleaje y marea meteorológica arrojan cambios muy pequeños, se puede optar por combinar diferentes eventos extremos de distinto periodo de retorno definidos a partir de las series temporales históricas, calibradas y validadas, combinadas con los diferentes escenarios de ANMM. Al trabajar con datos históricos homogéneos, calibrados y validados y utilizar probabilidades para los eventos extremos se reduce considerablemente la incertidumbre.</p> <p>Si las proyecciones de oleaje y marea meteorológica arrojan cambios no tan pequeños, será necesario definir los eventos extremos de distinto periodo de retorno a partir de las proyecciones considerando la incertidumbre asociada a los GCMs o RCMs de los que procedan.</p>
<p>ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS</p>	<p>Los cambios socioeconómicos dependen enormemente de tendencias sociales y de los ciclos económicos no carentes de gran incertidumbre. La introducción específica de proyecciones de población o de desarrollo socioeconómico requeriría, además de un conjunto de hipótesis de partida, una redistribución espacial de la población, el PIB o de nuevos activos en la zona de estudio modificando así la exposición y la vulnerabilidad. Esto daría lugar a introducir un número muy elevado de fuentes adicionales de incertidumbre que dificultaría de manera importante la identificación de los factores climáticos en el</p>	<p>Los escenarios del AR6 llevan asociadas trayectorias socioeconómicas compartidas que consideran diferentes grados de incremento de la población, desarrollo tecnológico o crecimiento económico por lo que este aspecto está parcialmente considerado en el análisis. Si no se dispone de proyecciones de exposición y vulnerabilidad fiables se puede optar por fijar la exposición y vulnerabilidad a la correspondiente al periodo de referencia para reducir la incertidumbre. En ese caso, se asumirá en la comunicación de los niveles de riesgo que cualquier incremento de la exposición y la vulnerabilidad conducirá de manera inmediata</p>

FACTOR	FUENTE DE INCERTIDUMBRE	MEDIDA PARA SU TRATAMIENTO/ REDUCCIÓN
	<p>riesgo y la posible selección de medidas para abordar la adaptación.</p>	<p>a un aumento de los niveles de riesgo. Esto es aplicable a cualquier proyecto en fase de planificación y pendiente de implementación en un futuro cercano si no cuenta con medidas de adaptación.</p>
<p>FUNCIONES DE VULNERABILIDAD</p>	<p>La respuesta de los distintos elementos expuestos frente a la intensidad de los impactos es un factor tremendamente específico y propio de cada elemento. Para el caso concreto de la exposición física, cada edificación experimenta unos daños distintos que son resultado de las diferentes características que la componen. Y, aun así, la relación impacto-daño estaría sujeta a un cierto grado de incertidumbre. Considerar funciones de daño distintas para cada edificación supone introducir nuevas fuentes de incertidumbre que hacen difícil acotar hasta qué punto el resultado obtenido depende de los factores climáticos o de otro tipo de factores.</p>	<p>Si no se dispone de curvas de vulnerabilidad empíricas, existen bases de datos con curvas de vulnerabilidad internacionales de calidad contrastada que se han sometido a un proceso de particularización para capturar las características propias del área de trabajo. Se recomienda que las curvas escogidas se validen comparando los resultados de los daños estimados con los daños experimentados en eventos extremos históricos de los que se disponga información.</p>
<p>CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DE BASE</p>	<p>El análisis de riesgo de Nivel III exige la integración de un conjunto de bases muy diversas relativas a peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. No todas tienen la misma calidad, resolución espacial o temporal o han sido obtenidas en periodos de tiempo homogéneos. Esta es una fuente de incertidumbre que puede afectar a los resultados.</p>	<p>Se recomienda emplear bases de datos de dinámicas marinas homogéneas y con una resolución espacial y temporal adecuadas para el análisis de impactos. Estas bases de datos deberán de estar calibradas y validadas con datos de observaciones. La batimetría, la topografía y la línea de costa es información clave que debe de estar actualizada y contar con resolución vertical y horizontal adecuada para el análisis de impactos que se pretenda realizar. Si se cuenta con información de campo, ésta puede utilizarse para corregir estos datos en puntos problemáticos en los que pueda haber errores o inconsistencias. Es preferible que la información relativa a otros elementos de la exposición y vulnerabilidad de los sistemas naturales y socioeconómicos proceda de fuentes oficiales y que sean lo más recientes posible. Es importante considerar la correlación temporal entre los datos climáticos y la información de exposición y vulnerabilidad, dado que no es directa. Mientras que los periodos climáticos vienen establecidos claramente por la disponibilidad de estos en los GCMs y los RCMs, la información de exposición y vulnerabilidad se data en diferentes fechas de levantamiento.</p>
<p>MODELOS DE IMPACTOS</p>	<p>En general el análisis de impactos de inundación y erosión en la costa para un número tan elevado de escenarios y una extensión de más de un centenar de kilómetros se suele abordar mediante modelos de inundación basados en técnicas de SIG (<i>bathub</i> o método de la bañera) y modelos de erosión basados en la aplicación de la Regla de Bruun (Bruun, 1962).</p>	<p>La incertidumbre asociada al modelado de impactos puede reducirse considerando modelos de procesos que resuelvan la física de los impactos que se deseen caracterizar (en lugar de emplear métodos aproximados más sencillos). Estos modelos deben escogerse de forma apropiada de acuerdo con las características de la zona de estudio y de los procesos</p>

FACTOR	FUENTE DE INCERTIDUMBRE	MEDIDA PARA SU TRATAMIENTO/ REDUCCIÓN
	<p>Estas aproximaciones generan un alto nivel de incertidumbre en los resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La primera puede llegar a sobreestimar en gran medida la inundación al no tener en cuenta cómo la lámina de agua se propaga sobre el terreno (representado mediante un MDT de alta resolución) considerar la rugosidad del terreno. • La segunda se basa en una compensación de volúmenes sobre un perfil teórico y no tiene en cuenta la topo-batimetría real. Además, la aplicación exclusiva de este modelo ignora otros procesos esenciales para entender la respuesta de la línea de costa a largo plazo (p.ej., los gradientes de transporte longitudinal). 	<p>relevantes que tengan lugar en ella. Además, los modelos de procesos deben calibrarse con información histórica de alta resolución (en lo que respecta a las dinámicas marinas) y observaciones. Existen modelos de impacto que emplean algoritmos de asimilación de observaciones, lo que permite reducir mucho la incertidumbre durante el proceso de calibración. Para el proceso de calibración o asimilación, es necesario contar con información sobre la posición de la línea de costa y marcas de agua, entre otros datos. Esta información puede proceder de diversas fuentes como campañas de campo, fotografías o imágenes de satélite.</p>
<p>ANÁLISIS y EVALUACIÓN DEL RIESGO</p>	<p>El análisis del riesgo se realiza mediante la integración de las componentes de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, a partir de los impactos evaluados. El riesgo cuantitativo se encuentra al final de la cascada de incertidumbre asociada al cálculo de este y, por tanto, la incertidumbre en el riesgo es el resultado de la acumulación de incertidumbres anteriores y del propio proceso de cálculo. Esto puede conducir a que la evaluación del riesgo esté basada en resultados de riesgo con un alto nivel de incertidumbre.</p>	<p>La incertidumbre en el riesgo puede reducirse mediante a través de dos vías complementarias. Por un lado, es necesario reducir la incertidumbre asociada a la cadena de datos y modelado clima-peligrosidad-exposición-impactos-vulnerabilidad). Por otro lado, se recomienda disponer de información de daños y pérdidas relativa a eventos extremos pasados que permitan validar los resultados obtenidos.</p>
<p>ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN</p>	<p>Esta cuestión es también una fuente de incertidumbre importante, dado que no existe garantía de que las medidas se vayan a implementar, ni cuándo o cómo se vayan a implementar.</p>	<p>Se recomienda optar por una adaptación en su mayor parte flexible que permita evaluar en el corto y medio plazo, y para diferentes escenarios, cuál es la combinación de medidas de adaptación que pudieran conducir a reducir el riesgo a niveles tolerables y cuando deberían implementarse para ello. Para cuantificar la eficacia de las medidas de adaptación en el riesgo es necesario implementarlas en la cadena de modelado y reevaluar el riesgo. Esta implementación puede llevarse a cabo en el modelado de impactos o a través de la alteración de la exposición y la vulnerabilidad, de acuerdo con la naturaleza de cada medida.</p>

Paso 4

Evaluación independiente

En aras de la transparencia se recomienda realizar un examen independiente del análisis de riesgo.

Entre los objetivos de dicha evaluación se encuentran:

- ✓ Garantizar que la metodología ha sido bien explicada y documentada.
- ✓ Explicar cómo se han tomado las decisiones más relevantes a lo largo de su ejecución, especialmente a la hora de completar los Pasos 1 a 7 de la Fase I.
- ✓ Indicar cómo se ha tratado y comunicado la incertidumbre a lo largo del análisis.
- ✓ Cuáles son las fortalezas y posibles debilidades del estudio y cómo se han comunicado.

Para hacer la revisión se puede proponer cualquiera de los siguientes métodos:

- ✓ una revisión exhaustiva por un experto individual o un pequeño grupo de expertos
- ✓ una serie de evaluaciones críticas de algunas de las características más relevantes de la evaluación de riesgos
- ✓ un taller de expertos en el que se presentan y evalúan los resultados

La evaluación independiente, además de garantizar una mayor transparencia, contribuirá a un mejor entendimiento de los resultados, una mejor apropiación por parte de los destinatarios finales del estudio y proporcionará una mayor utilidad del mismo.

Paso 5**Formulación de resultados y plan de comunicación****Redacción del informe final de análisis de riesgos**

El resultado final del análisis de riesgo debes ser un informe final que incluya, al menos:

- una descripción de los objetivos y alcance del análisis de riesgos
- la metodología y los criterios de toma de decisiones
- las principales conclusiones
- la información de antecedentes necesaria para comprender e interpretar los resultados
- una comunicación específica de las incertidumbres asociadas a los resultados

El informe debe contener, al menos, lo siguiente

- **Resumen ejecutivo**

El resumen ejecutivo requiere un esfuerzo de síntesis por parte del equipo de trabajo esencial puesto que es de dónde se extraerán los mensajes principales del trabajo, especialmente de sus resultados. Especial énfasis se hará en incluir las posibles salvaguardas en relación con las posibles incertidumbres y la información necesaria para la adecuada contextualización de los resultados. Es necesario que el origen de los mensajes clave sea perfectamente identificable en el resto del documento.

- **Descripción exhaustiva de los Pasos 1-7 desarrollado en las Fase I, entre otros:**

- o Contexto y objetivos:

- el contexto en el que se realizó la evaluación de riesgos (por ejemplo, como parte de un programa);

- los objetivos y enfoques de la evaluación de riesgos;
- las instituciones y las partes interesadas involucradas;
- el alcance de la evaluación del riesgo, incluidos el sistema y el impacto o impactos que se están examinando, así como la
- el alcance geográfico y el marco temporal.

o Metodología y aplicación:

- Relaciones causa-efecto que subyacen a la evaluación, incluidas las cadenas de impacto
- Factores de riesgo seleccionados y sus indicadores o caracterización espacial
- Métodos o modelos utilizados para la evaluación de impactos
- Criterios y método para la caracterización del riesgo
- Criterios para la toma de decisiones
- Expertos implicados
- Procesos participativos

o Resultados

- resumen de la información cuantitativa sobre el riesgo global, o por sectores o áreas geográficas, así como de las componentes que contribuyen al mismo (amenaza, exposición, impacto, vulnerabilidad y capacidad de adaptación)
- información cualitativa pertinente
- información detallada sobre amenaza, exposición, impacto, vulnerabilidad y capacidad de adaptación el peligro
- desafíos y oportunidades encontrados en las diversas etapas de la evaluación del riesgo;
- incertidumbres de los resultados;
- lecciones aprendidas;
- ilustraciones (mapas, diagramas, gráficos, etc.) que reflejan las diversas conclusiones de forma exhaustiva.

o Conclusiones y recomendaciones:

- conclusiones relativas a los objetivos del análisis de riesgo (identificación de puntos calientes regionales; rankings por impactos o sectores)
- conclusiones más relevantes para los tomadores de decisiones para su incorporación en planes de actuación o estrategias de adaptación
- recomendaciones para la planificación de la adaptación y la vigilancia y evaluación
- recomendaciones sobre análisis futuros

Plan de comunicación

Los resultados de los análisis y evaluaciones de riesgos del cambio climático pueden comunicarse de diversas maneras.

El método de comunicación más adecuado debe seleccionarse en función de la audiencia a la que vaya dirigida la evaluación de riesgos, que puede estar formada por un grupo diverso de actores (por ejemplo, organismos gubernamentales, sector privado, ámbito académico, público general, etc.).

Cada grupo de actores puede requerir una vía de comunicación diferente: informes generales de riesgos, vídeos, actos y talleres de divulgación específicos, seminarios web, artículos científicos, carteles o infografías, segmentos de informes de sostenibilidad y otros, etc.).

La finalización del proceso requiere incluir un plan de comunicación específico que incluya productos, hitos y plazos.

Cuadro 16.

Ejemplo de índice de informe sobre riesgos de cambio climático (Nivel 3) en la costa del área metropolitana de Lima.

**Ejemplo de índice de informe sobre riesgos de cambio climático (Nivel 3)
en la costa del Área Metropolitana de Lima**

RESUMEN EXTENSO

I. INTRODUCCIÓN

- I.1. Contexto formal del informe
- I.2. Contexto del análisis de riesgos del cambio climático en Perú
 - I.2.1 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú (PNACCP)
 - I.2.2 Plan Local de Cambio Climático de la Provincia de Lima 2021-2030
 - I.2.3 Estudio de Escenarios de Riesgos de la Provincia Constitucional del Callao
 - I.2.4 Informe de Huella Urbana
 - I.2.5 Conclusiones
- I.3. Ámbito de aplicación del estudio y actores principales
 - I.3.1 Ámbito de aplicación del estudio
 - I.3.2 Actores principales
- I.4. Metodología base para la estructura del análisis
- I.5. Estructura del documento

2. OBJETIVOS Y PRINCIPIOS GENERALES DEL ANÁLISIS DE RIESGO

- 2.1. Objetivos
- 2.2. Principios generales

3. FASES ANTERIORES DEL ANÁLISIS DEL RIESGO-NIVEL I

- 3.1. Resumen del análisis del riesgo percibido
- 3.2. Resumen del análisis del riesgo basado en criterio experto
- 3.3. Conclusiones

4. MARCO METODOLÓGICO GENERAL DEL ANÁLISIS DEL RIESGO CUANTITATIVO DE ALTA RESOLUCIÓN-NIVEL 3

- 4.1. Marco metodológico y su aplicación al área de estudio
- 4.2. Horizontes temporales y escenarios de trabajo

4.2.1. Horizontes temporales

4.2.2. Escenarios de trabajo

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS

5.1. Marco general

5.1.1. Introducción

5.1.2. Objetivo y metodología general

5.2. Clima marino en el Área Metropolitana de Lima

5.2.1. Introducción

5.2.2. Bases de datos

5.2.3. Niveles

5.2.4. Oleaje

5.2.5. Régimen hidrológico-hidráulico de las cuencas del ámbito de estudio

5.2.6. Proyecciones climáticas de nivel del mar

5.2.7. Conclusiones obtenidas de la evaluación de las proyecciones climáticas de las dinámicas marinas

6. EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD

6.1. Caracterización de la exposición

6.1.1. Exposición física

6.1.2. Exposición social

6.1.3. Exposición medioambiental

6.2. Determinación de la vulnerabilidad

6.2.1. Vulnerabilidad física

6.2.2. Vulnerabilidad social

6.2.3. Vulnerabilidad medioambiental

7. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

7.1. Introducción

7.2. Descripción de la zona de estudio

7.3. Modelado de impactos de inundación costera.

7.3.1. Cómo afecta el cambio climático a la inundación costera

7.3.2. Descripción de la metodología

7.3.3. Resumen de los resultados de la inundación

7.4. Modelado de impactos de erosión costera

7.4.1. Cómo afecta el cambio climático a las playas

7.4.2. Descripción de la metodología

7.4.3. Resultados

7.5. Análisis de impactos de la intrusión salina

7.5.1. Análisis del cambio climático sobre las dinámicas

7.5.2. Efecto del cambio climático sobre la recarga

8. ANÁLISIS DEL RIESGO CUANTITATIVO

8.1. Metodología para el cálculo del riesgo

8.2. Definición de los niveles de riesgo

8.3. Riesgo del área de estudio

8.3.1. Riesgo debido a la inundación costera por eventos de El Niño extremo

8.3.2. Riesgo debido a la inundación costera por eventos extremos

8.3.3. Riesgo debido a la inundación costera por eventos de cota de inundación definida

8.3.4. Riesgo debido a la inundación costera por tsunamis

8.3.5. Riesgo debido a la erosión costera permanente

8.4. Riesgo a nivel de distrito

8.4.1. Riesgo debido a la inundación costera por eventos de El Niño

8.4.2. Riesgo debido a la inundación costera por eventos extremos

8.4.3. Riesgo debido a la inundación costera por eventos de cota de inundación definida

8.4.4. Riesgo debido a la inundación costera por tsunamis

8.4.5. Riesgo debido a la erosión costera permanente

8.5. Riesgo sobre los ecosistemas litorales

8.6. Evaluación de la capacidad adaptativa

9. OTROS RIESGOS CONSIDERADOS

9.1. Inundación por precipitación extrema

9.2. Olas de calor

9.3. Sequías

9.4. Riesgo de desprendimiento en acantilados

9.5. Deslizamientos

9.6. Sismos

9.7. Tsunamis

10. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

11. CONCLUSIONES

12. ANEXOS

ANEXO I: Análisis de riesgo percibido y de criterio experto-Nivel I

ANEXO II: Caracterización de la peligrosidad-Nivel 3

ANEXO III: Impactos: Descripción de modelos y resultados

ANEXO IV: Fichas de riesgo por distrito

13. REFERENCIAS



FASE 3. ADAPTACIÓN

INTRODUCCIÓN

La adaptación surge como una necesidad que requiere ajustar un sistema natural o socioeconómico al clima proyectado y sus efectos. El fin último de la adaptación es pues hacer los sistemas más resilientes a la acción del clima y aprovechar las nuevas oportunidades que ofrece.

La planificación de la adaptación en la costa debe hacerse partiendo de un riguroso análisis de riesgos del cambio climático, siguiendo la metodología expuesta anteriormente en esta Guía en cualquiera de sus Niveles de aproximación, pero considerando que la adaptación debe enmarcarse en el contexto de las políticas, estrategias y procesos de planificación y toma de decisiones ya existentes en el ámbito de la gestión de la costa. A diferencia del análisis de riesgos, la adaptación requiere la intervención e implementación de medidas concretas y, por ello, es necesario que se contextualice en los marcos ya existentes.

Adaptación al cambio climático:

En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos.

Tipos de adaptación:

- Adaptación gradual o incremental: adaptación que mantiene la esencia y la integridad de un sistema o proceso a una escala determinada. En algunos casos, la adaptación gradual puede culminar en una adaptación transformativa
- Adaptación transformativa: adaptación que cambia los atributos fundamentales de un sistema socioecológico en previsión del cambio climático y sus impactos.

Límites de adaptación:

- Punto en que los objetivos de un agente (o las necesidades de un sistema) no pueden asegurarse frente a los riesgos intolerables mediante medidas de adaptación.
- Límite estricto de la adaptación: no se pueden adoptar medidas de adaptación para evitar riesgos intolerables.
 - Límite suave de la adaptación: actualmente no se dispone de opciones para evitar riesgos intolerables mediante medidas de adaptación

La entidad responsable de la adaptación será aquella que tenga las competencias para su implementación. Su determinación no está exenta de problemas pues las entidades con competencias, por ejemplo, en la protección de la costa, no son necesariamente las competentes para implementar proyectos de adaptación en el sector turístico o en el sector de las infraestructuras ubicadas en la costa.

Cuadro 17.*Ejemplo: el caso de España.***Ejemplo: El caso de España**

La elaboración de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española ha sido competencia del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico pues es la Administración General del Estado la competente en el llamado Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT). Por tanto, tiene la responsabilidad de diseñar, proyectar, financiar e implementar cualquier medida de adaptación en el DPMT. Sin embargo, cualquier medida de adaptación fuera de esa estrecha franja de la costa, es competencia de las Comunidades Autónomas o municipios.

Los puertos autonómicos están en terrenos del DPMT adscritos a las Comunidades Autónomas. La responsabilidad de elaborar sus planes de adaptación es, por tanto, de ámbito regional y aunque el plan suele elaborarse en colaboración con la entidad administrativa regional competente en materia de cambio climático, la implementación de las medidas de adaptación en los puertos es competencia de la entidad administrativa regional que gestiona los puertos y no de la responsable de cambio climático.

La planificación de adaptación podrá materializarse como una política, estrategia, plan o proyecto de implementación o integrarse dentro de instrumentos ya existentes (p.ej., estrategias de gestión integrada de costas, planes de protección de la costa o planes de puertos o pesqueros).

Su materialización dependerá esencialmente de sus fines y, muy especialmente, de la calidad del análisis de riesgo que se utilice como base para la misma. Así, por ejemplo, un análisis de riesgo Nivel 1 o Nivel 2 podría considerarse válido para el desarrollo de políticas o estrategias de adaptación pues permite identificar los forzamientos e impactos relevantes y las áreas potencialmente más afectadas, dando lugar a una formulación general de objetivos, principios y medidas de adaptación aplicables o preferentes en la costa considerada.¹²

¹². Por ejemplo: Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española (MITERD, 2019).

Sin embargo, un proyecto de adaptación que implemente medidas concretas, en localizaciones concretas, pasa necesariamente por un análisis de riesgos de Nivel 3 que permita reducir las incertidumbres y hacer una selección adecuada de aquella combinación de medidas de adaptación que garantice la consecución de los objetivos de reducción de riesgo considerados y una implementación coste-eficiente.

En general, sería deseable que la planificación de la adaptación en la costa incluya, entre otros aspectos:

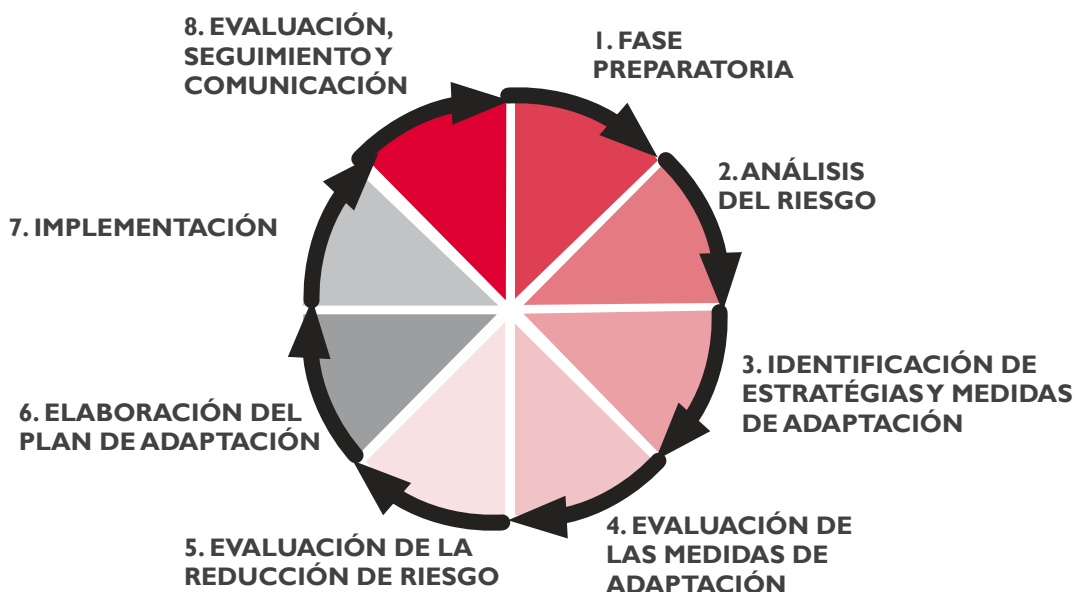
- La determinación del ámbito geográfico y sectorial de implementación de la adaptación.
- El establecimiento de objetivos cualitativos y cuantitativos para la adaptación, sobre la base de los riesgos previamente identificados. Estos objetivos deben fijarse en términos de reducción del riesgo o aumento de la resiliencia, considerando las posibles trayectorias del riesgo en el horizonte temporal establecido para la toma de decisiones, con y sin adaptación.
- La identificación de las posibles medidas de adaptación y/o combinación de las mismas que respondan a dichos objetivos.
- La evaluación cuantitativa de qué posibles medidas de adaptación al cambio climático se adaptan mejor a sus necesidades, capacidad técnica y recursos, utilizando métodos de toma de decisiones adecuados al contexto existente y a las incertidumbres asociadas al cambio climático. Para su evaluación deberían considerarse todos sus posibles co-beneficios y un calendario priorizado de implementación de las mismas.
- La adopción de un enfoque de gestión adaptativa flexible, con actualizaciones regulares, que permita reducir la incertidumbre en la toma de decisiones mediante un proceso continuo de incorporación de nuevos conocimientos (p.ej., nuevas proyecciones climáticas o herramientas para el cálculo de impactos), la observación de procesos e indicadores fundamentales (p.ej., a partir de nuevos sistemas de seguimiento), buenas prácticas o la implementación de métodos específicos para la toma de decisiones robustas ante un futuro incierto.

- La identificación en el plan de los recursos necesarios para garantizar su aplicación y seguimiento.
- La integración de los tomadores de decisiones relevantes y de las partes interesadas a lo largo del proceso de planificación para así permitir una implementación efectiva del plan, anticipándose a posibles problemas sociales, ambientales, legales, administrativos o financieros.

A partir de estas reflexiones se puede construir el círculo de la adaptación, tal y como se muestra en la Figura 29:

Figura 29.

Círculo de la adaptación



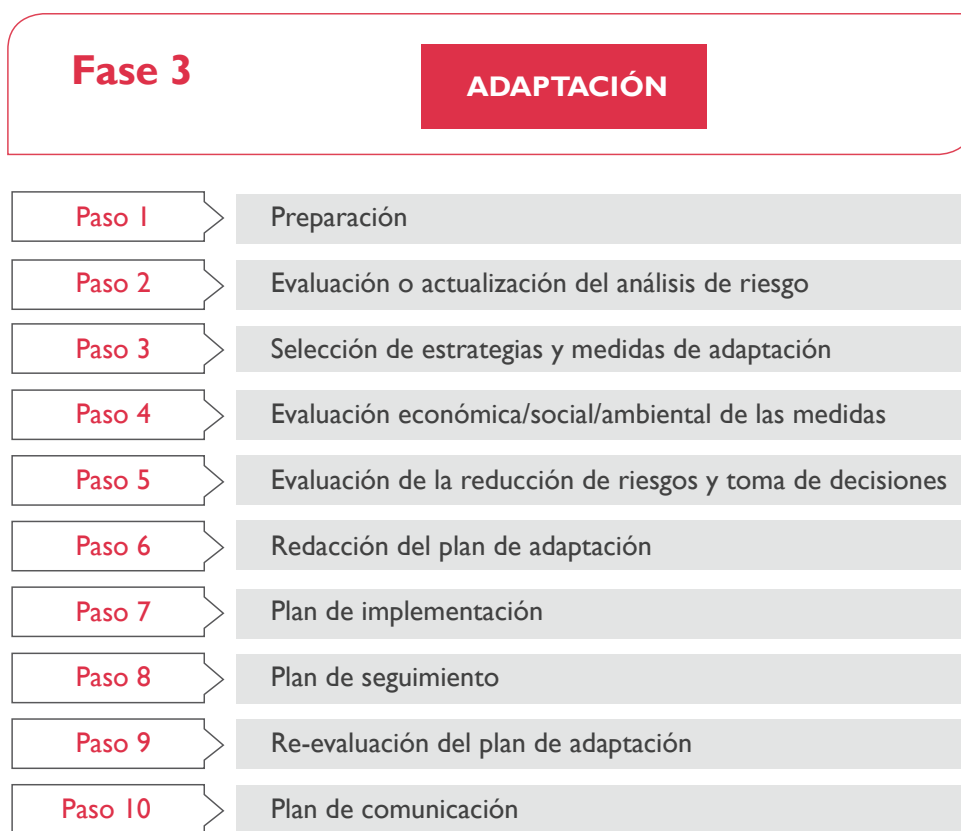
Por tanto, para una efectiva planificación, implementación y seguimiento de la adaptación, en esta Guía se sugiere seguir los pasos siguientes:

- Paso 1: Preparación
- Paso 2: Evaluación o actualización del análisis de riesgo
- Paso 3: Selección de estrategias y medidas de adaptación
- Paso 4: Evaluación económica/social/ambiental de las medidas
- Paso 5: Evaluación de la reducción de riesgos y toma de decisiones

- Paso 6: Redacción del plan de adaptación
- Paso 7: Plan de implementación
- Paso 8: Plan de seguimiento
- Paso 9: Re-evaluación del plan de adaptación
- Paso 10: Plan de comunicación

Tabla 47.

Resumen de los Pasos que constituyen la Fase 3: Adaptación



Paso 1**Preparación**

Determinación del ámbito de aplicación del plan de adaptación

En principio, el ámbito de aplicación de la planificación puede establecerse para un dominio territorial, considerando todos o varios de los diferentes sectores afectados (población, vivienda, industria de la zona costera una región), para un sector concreto (p.e. población vulnerable, sistema portuario o infraestructuras críticas de una región) o para una amenaza concreta (implementación de un sistema de adaptación de la costa al ANMM). En este último caso, la diferencia con un proyecto convencional residiría en que el proyecto de adaptación debe integrar el cambio climático o la resiliencia climática del sistema frente a diferentes escenarios de emisiones a lo largo de la vida útil de la actuación y plantear una o un conjunto de intervenciones flexibles en el tiempo para ajustarse a la evolución del ANMM y sus consecuencias.

Determinación del contexto de las políticas, estratégico y de planificación

La planificación de la adaptación puede responder a diferentes ámbitos espaciales, funcionales o sectoriales o niveles administrativos en la toma de decisiones que pueden ir, desde políticas a estrategias, planes o proyectos de implementación. Asimismo, éstas pueden ser de ámbito regional, nacional, provincial o municipal en función de cómo estén distribuidas las competencias en materia de cambio climático y de gestión de la costa en el país correspondiente.

Por ello, la entidad responsable del plan de adaptación deberá identificar las políticas, estrategias y planes internos y externos pertinentes que afecten a su nivel de planificación de la adaptación.

Al establecer sus políticas, estrategias y planes de adaptación, la entidad responsable deberá identificar y contrastar las relaciones entre la nueva planificación y:

- las demás políticas, estrategias y planes de gestión territorial o sectorial nacionales o regionales en vigor en la zona costera objeto del plan de adaptación.
- las normas, directrices y códigos de práctica específicos de los sectores con actividad en la zona costera considerada (p.ej., sector turístico y pesquero, gestión portuaria, espacios protegidos).
- requisitos legales y de otro tipo.
- otros planes y estrategias de adaptación supranacionales, nacionales, regionales y locales en vigor o en planificación.
- las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) en el marco del Acuerdo de París o las Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas: Objetivo 13 Acción Climática y otros objetivos relacionados como el Objetivo 14 sobre océanos.

En muchas ocasiones y en función del nivel en la toma de decisiones al que responda la planificación de la adaptación, puede existir normativa específica, como las evaluaciones ambientales a las que puedan ser sometidos los planes de adaptación, que exijan identificar y analizar las dependencias e interdependencias de la nueva planificación y su co-existencia con otras en vigor.

Tabla 48.

Ejemplo de análisis de las incidencias previsibles de la Estrategia para la Adaptación de la Costa Española a los efectos de Cambio Climático sobre planes sectoriales y territoriales concurrentes.

SECTOR DE PLANIFICACIÓN	EFECTO PREVISIBLE
Ambiental/Cambio Climático: Ley 2/2013 de 29 de Mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático	La Estrategia está guiada por objetivos derivados de estos marcos de planificación y contribuirá a su cumplimiento.
..... Ambiental/otros Directiva Marco del Agua Directiva Marco para la Estrategia Marina Directiva Marco de Planificación Marítima Espacial y Gestión Integrada de zonas costeras Directiva de Inundaciones	El enfoque de la Estrategia permite anticipar efectos positivos en el cumplimiento de otros elementos ambientales incluyendo aquellos fijados en los ámbitos de planificación considerados bajo este epígrafe.
..... Política Territorial	Se prevé la necesidad de disponer de mecanismos de coordinación con las CCAA para asegurar la coherencia entre los objetivos, metodologías y diagnósticos de la Estrategia y los propios desarrollados en la normativa autonómica. Asimismo, se prevé la necesidad de un mecanismo de coordinación específico para la implementación de los objetivos de la Estrategia aplicables en los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos de acuerdo con el artículo 49 de la Ley 22/1988 de 28 de Julio.
Defensa	Se prevé la necesidad de coordinación de los objetivos de la Estrategia con la gestión de las propiedades, infraestructura y patrimonio del Ministerio de Defensa en la Costa. Asimismo, se prevé actuaciones de capacitación y coordinación con la Unidad Militar de Emergencias (UME) para optimizar las capacidades de la misma ante eventos extremos en la costa.
Fomento	Se prevé la necesidad de un Plan Sectorial para desarrollar la Estrategia en el sector del transporte, especialmente en los Puertos de Interés General del Estado y aeropuertos situados en la costa.
Educación	Se prevé la necesidad de coordinación con este departamento para fomentar y dar difusión al conocimiento sobre los efectos del cambio climático y los eventos extremos en la costa promoviendo acciones educativas y de capacitación.
Industria, turismo y comercio	Se prevé la necesidad de Planes sectoriales para gestionar los objetivos de la Estrategia especialmente en los ámbitos de turismo, industria, energía y comercio en zonas costeras.
Cultura	Se prevé necesidad de coordinación con cultura especialmente para identificar y evaluar la vulnerabilidad de los bienes de interés cultural situados en zonas expuestas con el fin de hacer un correcto diagnóstico de los riesgos.
Sanidad y política social	Se prevé coordinación para administrar los objetivos de la Estrategia y la importancia de la componente social en la vulnerabilidad social frente a riesgos derivados de cambio climático y eventos extremos, así como en la mortalidad y salud.
Ciencia e innovación	Se prevé la necesidad de coordinación con organismos de investigación nacionales e internacionales que puedan proveer a la Estrategia de datos actualizados para mejorar los diagnósticos necesarios.

Formulación de los principios generales y determinación de alcances y objetivos de la adaptación

Hay un conjunto de principios generales que deben establecerse durante el proceso de preparación y que regirán toda la planificación, implementación y seguimiento de la adaptación. Estos principios deben consensuarse entre la entidad encargada de formular el proceso de adaptación, los agentes implicados en el proceso y el equipo de trabajo. Los principios propuestos a continuación, servirán para orientar la formulación del plan, el proceso de toma de decisiones o las necesidades de comunicación y difusión.

Entre los principios principales que se aconseja considerar están los siguientes.

• Aproximación sistémica

Los procesos de adaptación al cambio climático en la costa requieren una aproximación sistémica dada la diversidad de subsistemas socioeconómicos y naturales que co-existen en la costa, sus interrelaciones e interdependencias. Como se ha visto en las Fases anteriores esta visión debe estar ya presente en el análisis de riesgos.

• Aplicación del principio de precaución

Los procesos de adaptación al cambio climático conllevan, como se ha mostrado anteriormente, una componente elevada de incertidumbre que a veces es utilizada como justificación para el bloqueo o ralentización de acciones. En este caso, la aplicación del principio de precaución está orientado a favorecer la acción aun cuando la incertidumbre sea elevada para algunos horizontes temporales o escenarios de emisiones.

• Integración

Los procesos de adaptación al cambio climático serán tanto más efectivos cuanto más tengan en cuenta y se integren en otros procesos, políticas, planes y proyectos en curso en el sistema o subsistemas en el que se está planificando la adaptación.

• Adaptación flexible

En concordancia con el anterior, en este caso se pretende promover la adaptación flexible, es decir, aquella basada en intervenciones graduales y acotadas que vayan reduciendo el incremento de riesgo en el tiempo, evitando superar umbrales de riesgo no admisibles y que no conduzca a procesos de maladaptación o procesos colaterales con impactos negativos.

• Desde la adaptación incremental hasta la transformación

En función de la evolución del riesgo y de los umbrales admisibles, el plan de adaptación debería considerar, tanto medidas de adaptación incremental, mediante las que se mantiene la esencia y la integridad de un sistema o proceso a una escala determinada como también medidas transformativas. Es decir, aquellas con las que se cambia los atributos fundamentales de un sistema socio-ecológico en previsión del cambio climático y sus impactos.

• Adaptación planificada y autónoma

Otro principio fundamental es el de asumir que, además de la adaptación planificada, existe la adaptación autónoma. Es decir, aquella que se produce sin intervención humana en los sistemas naturales, o sin planificación, de manera espontánea en comunidades humanas.

• Robustez y base científica

La toma de decisiones en los procesos de adaptación debe fundamentarse en una sólida base científica y en métodos y técnicas que sean robustas.

• Resiliencia

Los procesos de adaptación deben fundamentarse en criterios de sostenibilidad.

• Sinergias entre adaptación y mitigación

La adaptación planificada e implementada debe contribuir a reducir los gases de efecto invernadero y a cumplir con los objetivos de descarbonización de los sectores y ámbitos geográficos en los que se implementen.

• Favorecer soluciones basadas en la naturaleza (adaptación ecosistémica)

En general, en muchos países se intenta favorecer la selección de soluciones basadas en la naturaleza frente a soluciones grises convencionales. Además, de

múltiples co-beneficios, en algunas circunstancias la conservación y restauración de algunos ecosistemas costeros (p.ej., manglares) también contribuyen al principio anterior relativo a la reducción de emisiones.

• Participación, co-creación, co-diseño

Además de los procesos característicos de participación que acompañan a cualquier proyecto, plan o estrategia es necesario favorecer la co-creación y el co-diseño de las estrategias y medidas de adaptación pues, con ellos, se favorecerá la aceptación de agentes y comunidades.

• Transparencia y publicidad

Toda la información relativa a los procesos de evaluación del riesgo, planificación, implementación y seguimiento de la adaptación debe ser debidamente documentado y comunicado, adecuando la información a los receptores de la misma y transmitiendo adecuadamente los resultados, incertidumbres y posibles limitaciones.

Establecimiento de los marcos temporales, escenarios a considerar y línea base

En general, el establecimiento de los marcos temporales, escenarios a considerar y línea base vendrá marcado, en gran medida, por aquellos correspondientes al análisis de riesgos sobre el que se sustenta el plan de adaptación. Especialmente en cuanto a los escenarios se refiere, pues son éstos los que han condicionado los resultados del análisis de riesgos.

No obstante, son varios los factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar los marcos temporales, entre otros:

- Los resultados del análisis de riesgo, con especial atención a horizontes temporales en los que se esté próximo a superar los umbrales de riesgo admisible. Por ejemplo, si se identifica que para alguno de los escenarios alguna de las infraestructuras costeras perderá su operatividad por el aumento del nivel medio del mar o por un incremento en la precipitación extrema, será necesario que el horizonte de planificación de la adaptación sea inferior.

- La vida útil del sistema/subsistema o de los activos y procesos principales. Por ejemplo, no es lo mismo un horizonte de planificación para adaptar una infraestructura que está al final de su vida útil que para una medida que pretenda garantizar la supervivencia de un campo de manglar.
- Los periodos característicos de la planificación en vigor o próxima a ser implementada con relación directa o indirecta con la planificación de la adaptación. Los planes de adaptación de la costa deberían formularse para horizontes temporales compatibles, por ejemplo, con planes de reducción de riesgo de desastres, ordenación territorial o urbana.
- El tiempo necesario para la implementación de las medidas de adaptación y que éstas resulten efectivas. En general, es necesario tener en cuenta que cualquier medida de adaptación que se pretenda plantear en la costa está en muchas ocasiones condicionada por largos procesos administrativos para su implementación. Además, mientras que un elemento de protección frente a la inundación como un dique genera la protección objetivo de manera inmediata una vez construida, la restauración de un campo de manglar o de un humedal requiere varios años hasta alcanzar los estándares de protección deseados.

Selección de la metodología y marco de toma de decisiones

La planificación de la adaptación requiere integrar un proceso de toma de decisiones que se deberá enmarcar en el ámbito de la gobernanza existente y, considerando aspectos financieros, sociales, ambientales y técnicos, así como aquellos de carácter competencial. Éste último factor suele ser bastante determinante especialmente en las zonas costeras en las que gobernanza y competencias se encuentra altamente fragmentada.

Además, las decisiones a tomar deberán centrarse en la planificación e implementación de medidas y estrategias que sean proporcionales al alcance de los impactos del cambio climático identificados en el análisis y evaluación de los riesgos anteriormente realizados, especialmente teniendo en cuenta que la adaptación compite habitualmente por recursos limitados.

Otro aspecto importante que considerar es que, durante el proceso de toma de decisiones se deberían identificar y evaluar las posibles barreras y facilitadores de la toma de decisiones y de las estrategias o medidas de adaptación. Estos obstáculos y facilitadores deberían incluir los asociados a la implementación de las acciones de adaptación propuestas.

A la hora de evaluar las opciones de adaptación, será necesario también tener en cuenta la duración prevista de las consecuencias de la decisión.

- Las decisiones con consecuencias que duren menos de 10 años tienden a requerir sólo una capacidad de decisión baja para responder adecuadamente, ya que la causa y el efecto son fácilmente identificables sin altos niveles de experiencia o conocimiento.
- Las decisiones con consecuencias que duren entre 10 y 20 años requieren una capacidad de decisión media, ya que se necesitan mayores niveles de experiencia para dar sentido a las relaciones menos obvias entre causa y efecto.
- Las decisiones con consecuencias que duren 20 años o más requieren una capacidad de decisión alta, debido a la incertidumbre que hay que gestionar en la decisión (es decir, algunas consecuencias de los impactos climáticos son desconocidos o tienen muy alta incertidumbre). Este último caso es el más adecuado, por ejemplo, para considerar los efectos del aumento del nivel medio del mar.

En general, en la costa, las consecuencias de las decisiones vinculadas a la construcción de grandes infraestructuras de protección o de la restauración de una amplia zona con manglar pueden tener un alcance de décadas en comparación con las consecuencias de implantar un sistema de alerta temprana. Es más, muchas de estas decisiones pueden tener consecuencias que van mucho más allá del horizonte de planificación pre-establecido. Por tanto, es necesario buscar un equilibrio entre la complejidad del proceso de toma de decisiones y la duración de las consecuencias de las mismas.

Por ello, será necesario contar en este proceso con la capacidad interna o externa de tomar decisiones de adaptación al cambio climático con un nivel de experiencia acorde con la complejidad de las decisiones. Como ya se ha comentado, esto es especialmente importante en la costa, donde la incertidumbre vinculada a las

proyecciones de aumento del nivel medio del mar es un factor determinante demandando, generalmente, una capacidad decisoria alta.

En este sentido, la adaptación, en muchos aspectos no dista mucho de otros procesos habituales que requieren la toma de decisiones. Por ello, son de uso bastante común métodos como los siguientes:

- Evaluación cualitativa.
- Análisis por indicadores.
- Análisis coste-eficacia.
- Análisis coste-beneficio.
- Análisis multicriterio.
- Otras metodologías (opciones reales, trayectorias adaptativas, toma de decisiones robusta...).

Formación del equipo de trabajo, análisis de recursos disponibles y capacidades _____

De manera análoga a como se especificó para el caso del análisis de riesgo, la entidad que tenga asignada la responsabilidad de planificar la adaptación deberá designar un equipo de trabajo que puede estar formado por expertos externos e internos designados ad-hoc. La formación del equipo puede sustentarse sobre el núcleo del equipo de trabajo que desarrolló el análisis de riesgo que servirá de base, pero requerirá ser reforzado con especialistas en adaptación.

- El equipo de trabajo debe tener conocimiento en análisis de riesgos; los principios generales que rigen la adaptación; metodologías para la toma de decisiones en un marco de incertidumbre y, muy especialmente, en las diferentes opciones de adaptación en la costa, desde aquellas basadas en gestión, tecnológicas, sociales o ecosistémicas. En este caso, sería deseable que la mayor parte de estos especialistas aportaran una visión sistémica a la hora de considerar los diferentes tipos de soluciones y que cuenten con el conocimiento necesario para abordar aspectos tales como: costes de implementación y mantenimiento, modelado y seguimiento de su eficiencia durante su vida útil, barreras para su implementación, co-beneficios o los efectos sinérgicos entre adaptación y mitigación. Finalmente, sería necesario también contar con especialistas que sean conocedores del ámbito regulatorio en el que se enmarca la planificación de la adaptación, así como de las posibles fuentes de financiación. Independientemente de que algunos de estos especialistas se impliquen solo puntualmente o que

su papel sea necesario solamente durante algunas fases, es altamente recomendable que durante las primeras fases de la planificación su interacción sea importante para conseguir el total alineamiento entre objetivos y factibilidad de la implementación.

- Algunos de los especialistas anteriormente requeridos, en función de las necesidades, recursos y medios disponibles, pueden formar parte del equipo de trabajo como expertos externos.
- Es altamente recomendable también que el equipo de trabajo incluya, desde las primeras etapas del proceso, al menos, un representante de los tomadores de decisiones interesados o receptores de la planificación. Esto facilita notablemente que la planificación responda a criterios de gestión que puedan ser luego realmente priorizados. Asimismo, su participación desde el comienzo del proceso favorece la apropiación e interiorización de los resultados en el proceso de toma de decisiones.
- Es esencial que las funciones y responsabilidades de los componentes del grupo de trabajo, a lo largo de todo el proceso de elaboración de la planificación de la adaptación queden perfectamente definidas.

Establecimiento del proceso de participación

- En muchos países, los procesos de participación están regulados o son de obligado cumplimiento, por lo que será imprescindible analizar el proceso administrativo al que será sometido el plan de adaptación que, en muchas circunstancias, puede estar sometido a evaluación ambiental.
- No obstante, otras partes interesadas pueden y deben intervenir mediante la implementación de un proceso participativo sin formar parte del grupo de trabajo. Su participación puede ser esencial al principio del proceso, para comprender el contexto o aportar información y experiencia, así como durante y después de la evaluación, para validar los resultados o contribuir a la difusión de los mismos (p.ej., interpretación del análisis del riesgo, identificación de medidas de reducción efectivas o no efectivas implementadas en el pasado, identificación de los niveles de riesgo tolerables/aversión al riesgo, preferencias entre medidas). El equipo del trabajo debe establecer mecanismos de comunicación periódicos para coordinar con la entidad responsable última el proceso de participación.

El proceso participativo en el análisis de riesgos tiene como objetivo fundamental recabar información y conocimiento sobre el riesgo percibido y sobre bases que puedan permitir una mejor cuantificación de los impactos y riesgos. Sin embargo, la adaptación tiene como objetivo fundamental la implementación de medidas concretas para mantener los niveles de riesgo por debajo de umbrales admisibles. Determinar estos umbrales o seleccionar las medidas sin un proceso participativo, puede resultar en un proceso fallido, por ejemplo, por no contar con la aceptación o licencia social necesarias para su implementación.

Recopilación de la información relevante

Para poder abordar correctamente la planificación de la adaptación es necesario realizar una importante labor de recopilación. En términos generales, la información que será necesario recopilar se puede dividir en los tres siguientes grandes epígrafes:

- Análisis de riesgos existentes.
Será necesario identificar todos los estudios previos relevantes de riesgos o parciales vinculados a los mismos (peligrosidad, exposición, vulnerabilidad, consecuencias, etc.).
- Información histórica de actuaciones implementadas para la adaptación o reducción de riesgos de carácter meteorológico o climático en las áreas o sectores objeto de la planificación de la adaptación.
 - Características principales.
 - Año de implementación y vida útil esperada.
 - Aspectos legales, administrativos y financieros para su implementación y mantenimiento.
 - Aceptación social e impacto ambiental.
 - Información relativa al seguimiento sobre su eficiencia.

En este caso, es necesario verificar si el papel que juegan estas medidas sobre la reducción del riesgo ha sido debidamente considerado en el análisis de riesgo que va a utilizarse para la planificación de la adaptación. (p.e. no considerar que se ha construido un dique, restaurado una zona de manglar o implementado medidas para mantener la estabilidad

de un sistema dunar y su eficiencia puede dar lugar a mayorar o minorar los riesgos o a proponer medidas que no se han mostrado eficientes).

- Buenas prácticas en situaciones similares.

Establecimiento del plan de trabajo

Una vez cubiertos los aspectos anteriores es necesario proceder al establecimiento de un plan de trabajo de acuerdo con las necesidades establecidas. La entidad responsable del plan de adaptación deberá garantizar que el plan de trabajo contenga, al menos:

- La definición de tareas y subtareas.
- La definición de las responsabilidades de los equipos de trabajo interno y externo.
- El cronograma de trabajo, hitos, resultados y productos esperados.

Paso 2

Evaluación o actualización del análisis de riesgo

El análisis de riesgo es un elemento esencial pues permite identificar:

- Las áreas, sectores, activos con mayor riesgo y el nivel de riesgo en función de los diferentes escenarios considerados.
- La evolución temporal del riesgo y los horizontes temporales en los que se puede alcanzar niveles de riesgo inasumibles.
- La intensidad y la temporalidad de las acciones a implementar.
- La priorización de actuaciones con base en los recursos disponibles.

Sobre esta base pueden darse varios supuestos.

En general, es altamente recomendable que la planificación de la adaptación incluya su propio análisis de riesgos. Esto garantizará que el plan se redacte con la última información disponible y que las propuestas de actuación son acordes con una adecuada interpretación de los riesgos evaluados.

Sin embargo, se puede dar la circunstancia de que el equipo responsable del plan de adaptación tenga que contar con análisis de riesgo pre-existentes. En dicho caso, será necesario realizar un análisis exhaustivo de las hipótesis y metodología empleada, de las características esenciales de las bases de datos, así como de las incertidumbres asociadas a los resultados del mismo. Si el análisis de riesgo no se encuentra bien documentado, es altamente recomendable contactar con el equipo redactor con el fin de aclarar todos estos aspectos. Una interpretación errónea de algunos de los resultados del análisis de riesgo puede dar lugar a un plan de adaptación insuficiente o inadecuado. Como ya se ha dicho anteriormente, el nivel del análisis de riesgo debe ser consistente con el objetivo de la planificación de la adaptación. Así, por ejemplo, no es recomendable abordar proyectos de adaptación si no es con análisis de riesgo de Nivel 3 o estrategias de adaptación de ámbito regional o nacional con análisis de riesgo de Nivel 1.

En los casos en los que los análisis de riesgo no cuenten con bases de datos actualizadas para la peligrosidad, exposición o vulnerabilidad; no incluyan los escenarios climáticos más recientes, los horizontes temporales no correspondan con los horizontes de planificación de la adaptación o los niveles de incertidumbre no sean asumibles para la planificación deseada, se puede proceder a actualizar los mismos. Sin embargo, suele ser mucho más eficiente, en la mayor parte de los casos, proceder a hacer un nuevo análisis de riesgo, aprovechando la información y experiencia de los análisis anteriores.

Paso 3**Selección de estrategias y medidas de adaptación****Identificación de posibles estrategias de adaptación**

Una vez definido el objetivo de adaptación para un tramo o segmento de la costa determinado, se recomienda comenzar fijando cuál es la estrategia de adaptación con la que se desea alcanzar el objetivo planteado.

En informes anteriores del IPCC (AR4, 2007) y en otra literatura, las estrategias de adaptación en la costa se organizan también atendiendo a cuatro grandes grupos: 1) retirada planificada, 2) acomodación; 3) protección y 4) avance, Figura 30.

Dentro de cada una de ellas existen diferentes opciones de adaptación que pueden aplicarse de forma individual o combinada y cuya implementación dependerá de las capacidades tecnológicas, el marco legal y financiero, las políticas de gestión de la costa vigentes en cada momento, la financiación o la aceptación social.

Las medidas de adaptación que se enmarcan en la estrategia de retroceso tienen como objetivo principal el abandono planificado de las zonas susceptibles de verse afectadas por los impactos del cambio climático reduciendo el riesgo mediante la reducción de la exposición. Dentro de ellas existen diferentes alternativas que pueden aplicarse de forma individual o combinada y cuya implementación dependerá de las capacidades tecnológicas, y del marco legal y financiero, así como de las políticas de gestión de la costa vigentes en cada momento. En este caso, se admite que la línea de costa pueda retroceder con respecto a la posición de la presente.

La estrategia de acomodación es aquella que se basa en promover la coexistencia de los elementos expuestos en las zonas afectadas con el incremento del riesgo derivado del cambio climático en la costa. Por tanto, engloba medidas que están fundamentalmente dirigidas a reducir la vulnerabilidad de los elementos

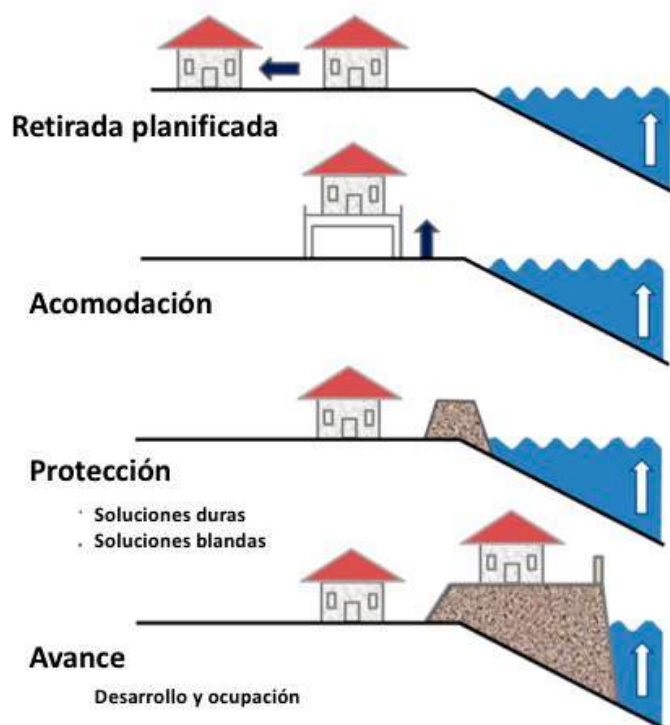
expuestos, ya sea mediante la modificación de usos del suelo, la introducción de normativa específica para las infraestructuras y viviendas o la adopción de medidas que aumenten la preparación de los elementos expuestos ante los posibles impactos o la implementación de cambios en el sistema de seguros. En este caso, se asume que el incremento de riesgo venga derivado del retroceso de la línea de costa con respecto a la posición presente.

Las estrategias de protección se materializan con medidas que tienen, como fin último, proteger las zonas en riesgo, ya sean parte del sistema socioeconómico o natural, tratando de evitar que se produzcan los impactos derivados de la inundación, erosión, intrusión salina, etc., mediante la reducción de las amenazas (peligrosidad) y/o especialmente la exposición, tratando de minimizar el efecto de los cambios en la peligrosidad sobre los elementos expuestos. Los elementos de protección pueden ser estructuras grises, soluciones basadas en la naturaleza o verdes o una mezcla entre ambas, lo que se conoce como soluciones híbridas. En esta estrategia el principio fundamental suele seguir el criterio de mantener la línea de costa en su posición presente.

Un caso especial de la estrategia de protección, y que suele considerarse de forma separada, es la estrategia de avance, en la que se busca evitar el efecto de las amenazas o la reducción de la exposición avanzando la línea de costa. Entre las medidas de avance más utilizada está la ocupación de la costa mediante rellenos artificiales.

Evidentemente, cualquiera de las opciones que se consideran dentro de esta clasificación se pueden incluir dentro de las categorías incluidas en la Tabla 49.

Figura 30.
Estrategias de adaptación en la costa de acuerdo con el AR4 y posteriores



Clasificaciones más comunes de las medidas de adaptación

La adaptación planificada implica la programación e implementación de un conjunto de opciones de adaptación orientadas a reducir el riesgo y/o aumentar la resiliencia del sistema costero. No existe una única clasificación para las diferentes opciones de adaptación disponibles en la costa.

De acuerdo con la última clasificación recogida en el AR5, las opciones de adaptación se pueden organizar en tres grandes categorías: 1) opciones estructurales o físicas; 2) opciones sociales y 3) opciones institucionales. Como puede observarse en la Tabla 49, cada una de estas opciones puede, a su vez, subdividirse en subcategorías más específicas. En general, podríamos decir que las opciones estructurales o físicas tienen en común que se trata de opciones

concretas y discretas, bien definidas en el espacio y en el tiempo e implementadas localmente. Aunque algunas de las englobadas bajo el epígrafe de opciones sociales también pudieran dar respuesta a este criterio, en general, tienen como objetivo principal reducir la vulnerabilidad social. Finalmente, las opciones institucionales responden a aspectos legales, financieros y económicos. La Tabla 49 presenta ejemplos concretos de opciones de adaptación en la costa, encuadrados de acuerdo con la clasificación anterior.

Tabla 49.

Categorías de opciones de adaptación en la costa. (Fuente: modificado de IPCC (2014))

OPCIONES DE ADAPTACIÓN: CATEGORÍAS		EJEMPLOS
Estructurales Físicas	Ingeniería	Obras de protección; regeneración de playas y dunas, adaptación de infraestructuras y equipamientos situadas en la costa, códigos de edificación.
	Tecnología	Elaboración de diagnósticos con técnicas y datos de última generación, sistemas de alerta temprana, monitorización estandarizada de indicadores de cambio climático y sus impactos, introducción de cultivos con tolerancia a aguas salobres.
	Basadas en ecosistemas	Restauración y conservación de humedales y marismas, incremento de la diversidad biológica, soluciones basadas en los servicios prestados por los ecosistemas costeros.
	Servicios	Adaptación de infraestructuras asociadas a las provisión de servicios básicos a nivel municipal (agua, electricidad, transporte, comunicaciones).
Sociales	Educación	Concienciación e integración en programas educativos, formación y capacitación técnica, creación de plataformas de intercambio de información y buenas prácticas, creación de redes de cooperación e investigación, celebración de eventos, talleres, conferencias específicas.
	Información	Elaboración de mapas de peligrosidad, vulnerabilidad, riesgo; generación de bases de datos de alta resolución de indicadores fundamentales; sistemas de alerta y respuesta temprana; monitorización sistemática de la costa; elaboración de nuevas proyecciones de alta resolución para la costa española; desarrollo de nuevos escenarios.
	Comportamiento	Acomodación; protocolos de evacuación; retroceso; relocalización; diversificación de actividades en zonas costeras; cambios en prácticas agrícolas y ganaderas.

OPCIONES DE ADAPTACIÓN: CATEGORÍAS	EJEMPLOS	
Institucionales	Economía	Incentivos financieros incluido impuestos y subvenciones; seguros; evaluación económica de los servicios prestados por ecosistemas.
	Leyes y regulaciones	Planificación territorial; códigos de construcción y edificación; gestión del agua; protección civil; gestión de concesiones; áreas protegidas.
	Políticas y programas gubernamentales	Planes sectoriales; planes de adaptación multinivel (de local a internacional); programas de gestión de riesgos; gestión integrada de zonas costeras; gestión de cuencas hidrográficas; directivas.

Independientemente del modo de clasificación, las opciones de adaptación se seleccionan para cumplir un objetivo específico a la hora de reducir cualquiera de los factores que reducen el riesgo. Por ello, es importante conocer sus tipologías, los beneficios en términos de reducción de riesgo y los factores que condicionar su eficacia. A éstos habrá que añadir otros co-beneficios de carácter social, ambiental, económico o de mitigación relevantes a la hora de determinar la solución más adecuada.

Soluciones ingenieriles convencionales

Entre las opciones estructurales físicas se encuentran las estructuras convencionales de ingeniería orientadas, fundamentalmente, a la protección de la línea de costa a través de la construcción de estructuras rígidas (p.e. diques rompeolas, espigones, diques exentos o sumergidos, etc.). Su función esencial es evitar la inundación y erosión. También se han venido incluyendo entre ellas las basadas en alguna forma de gestión del sedimento, conocidas como soluciones ingenieriles blandas (p.ej., restauración y conservación de dunas, regeneración de playas y el control de la sedimentación natural). Sin embargo, recientemente estas últimas se han integrado habitualmente dentro de los que se conocen como infraestructuras verdes que, incluyen también algunas soluciones basadas en ecosistemas. Entre las medidas críticas para el avance de la línea de costa, la más común son los rellenos. En los países de la RIOCC la construcción de estructuras rígidas y, sobre todo, la regeneración de playas y sistemas dunares ha sido la actuación dominante. Sin embargo, es necesario decir que prácticamente la totalidad de estas actuaciones se ha dirigido a la protección o recuperación frente a eventos extremos o a la reducción de los impactos de la acción humana y no realmente a la adaptación.

Tabla 50.

Síntesis de medidas de adaptación estructurales. Factores generales que inciden en la eficacia en la reducción de riesgo costero: marea meteorológica y altura/periodo de ola, nivel del mar. (Fuente: USACE, 2013).

Diques	Barreras contra la marea meteorológica	Malecones y revestimientos	Espigones	Diques exentos
				
<p>Beneficios/Procesos Atenuación y / o disipación de la marea meteorológica y el oleaje Reducción de la inundación Reducción del riesgo para áreas vulnerables</p> <p>Factores de eficacia Altura del dique, anchura de la cresta y pendiente Altura y periodo de ola Nivel del mar</p>	<p>Beneficios/Procesos Atenuación de la marea meteorológica y el oleaje Reducción de la intrusión salina</p> <p>Factores de eficacia Altura de la barrera Altura de ola Periodo de ola Nivel del mar</p>	<p>Beneficios/Procesos Reducción de la inundación Reducción del rebase del oleaje Estabilización de la costa detrás de la estructura</p> <p>Factores de eficacia Altura de ola Periodo de ola Nivel del mar Protección contra la socavación</p>	<p>Beneficios/Procesos Estabilización de la costa</p> <p>Factores de eficacia Longitud del espigón, altura, orientación, permeabilidad, y separación Profundidad del fondo barlomar y altura de ola Nivel del mar Tasa de transporte longitudinal de sedimentos y distribución</p>	<p>Beneficios/Procesos Estabilización de la costa tras la estructura Atenuación del oleaje</p> <p>Factores de eficacia Altura y anchura del dique Permeabilidad, proximidad a la costa, orientación y separación del dique</p>

Adaptación basada en ecosistemas (ABE)

La adaptación en la costa basada en ecosistemas se fundamenta principalmente, aunque no en exclusividad, en el uso de los servicios ecosistémicos de protección provistos por los ecosistemas costeros. Por tanto, se orienta hacia la gestión sostenible, restauración y conservación de arrecifes de coral, humedales, praderas (pastos) o bosques de manglar. Aunque habitualmente catalogada como una medida de ingeniería, la gestión de sedimentos, por ejemplo, como la regeneración

de sistemas dunares, también puede incluirse en la ABE, bajo el concepto de infraestructura verde. La infraestructura verde se considera una solución que responde a las demandas económicas, sociales y de desarrollo, al tiempo que garantiza el funcionamiento de los ecosistemas. Si bien el concepto de infraestructura verde es muy amplio, puede entenderse como construcciones naturales, seminaturales o artificiales que contribuyen a la conservación, restauración, implementación y mejora de las funciones biológicas y a la mejora de los servicios de los ecosistemas.

En la Tabla 5 I se muestran algunas de estas soluciones.

Tabla 5 I.

Síntesis de servicios de protección de sistemas naturales y basados en la naturaleza. Las formaciones vegetales incluyen marismas, humedales y vegetación acuática sumergida. Factores generales que inciden en la eficacia de la reducción del riesgo costero: intensidad, trayectoria y velocidad de avance de la tormenta; batimetría y topografía local del entorno. (Fuente: USACE, 2013)

Dunas y playas	Formaciones vegetales	Arrecifes de coral y de ostras	Islas barrera	Bosques marítimos/ Comunidades arbustivas
				
<p>Beneficios/Procesos Rotura del oleaje offshore Atenuación de la energía del oleaje Transferencia lenta de aguas interiores</p> <p>Factores de eficacia Altura y ancho de berma Pendiente de la playa Tamaño de grano y suministro de sedimentos Altura, cresta y anchura de la duna Presencia de vegetación</p>	<p>Beneficios/Procesos Rotura del oleaje offshore Atenuación de la energía del oleaje Transferencia lenta de aguas interiores Mayor infiltración</p> <p>Factores de eficacia Elevación y continuidad de marismas, humedales o SAV Tipo y densidad de vegetación</p>	<p>Beneficios/Procesos Rotura del oleaje offshore Transferencia lenta de aguas interiores</p> <p>Factores de eficacia Anchura, elevación y rugosidad del arrecife</p>	<p>Beneficios/Procesos Atenuación y/o disipación del oleaje Estabilización de sedimentos</p> <p>Factores de eficacia Elevación, longitud y ancho de la isla Cobertura terrestre Susceptibilidad de ruptura Proximidad a la costa continental</p>	<p>Beneficios/Procesos Atenuación y/o disipación del oleaje Estabilización de la erosión del litoral Retención de suelo</p> <p>Factores de eficacia Altura y densidad de la vegetación Dimensión del bosque Composición de sedimentos Elevación de la plataforma</p>

Los principales beneficios atribuidos a los proyectos de implementación de infraestructura verde incluyen el aumento de la resiliencia de las comunidades directamente dependientes de estos ecosistemas, la provisión de servicios ecosistémicos, la recuperación/conservación de biodiversidad, co-beneficios de mitigación (carbono azul), la reducción de los efectos negativos de las infraestructuras grises y la aplicación de medidas correctoras, además de crear espacios multifuncionales y mejorar las oportunidades de recreación y/o actividades económicas. Además, de las ventajas derivadas, principalmente, de sus co-beneficios ambientales, sociales y económicos, también presentan una mayor flexibilidad o coste reducido frente a infraestructuras de defensa de la costa convencionales. Otro aspecto adicional por considerar es que los sistemas vegetales también contribuyen de manera importante a la mitigación del cambio climático gracias a su función como sumideros de CO₂. No obstante, lo anterior, las ABE no están exentas de algunas limitaciones o restricciones, particularmente relacionados con la ausencia de datos, códigos e información específica sobre las características que deben tener estas infraestructuras naturales en su rol de protección o disminución del riesgo.

Asimismo, y aunque existe una gran experiencia en restauración, el número de proyectos de implementación realizados en el campo orientados a los servicios de protección es limitado. Por ello, esta disciplina se encuentra actualmente en una situación incipiente, requiriendo un esfuerzo importante de estandarización para reducir los impactos de la erosión e inundación en zonas con alta exposición y vulnerabilidad. Por ello, en los últimos años se ha venido desarrollando la idea de las soluciones híbridas que combinan soluciones basadas en la naturaleza con otro tipo de opciones para cubrir las necesidades de adaptación.

En este marco e integrando las diversas soluciones anteriores bajo el concepto de infraestructuras verdes, se han venido desarrollando diferentes iniciativas en la región. En la Tabla 52 se recoge un resumen sobre algunas iniciativas que se están llevando o se han llevado a cabo diferentes países de la RIOCC.

La Tabla 52 categoriza los tipos de infraestructura verde según su grado de naturalidad, y proporciona ejemplos de su aplicación en América Latina y Caribe para combatir los riesgos de erosión e inundación, así como fomentar la recuperación de ecosistemas, la provisión de servicios ecosistémicos, la conservación de biodiversidad y el bienestar humano.

Tabla 52.

Clasificación de infraestructuras verdes y aplicaciones de América Latina (adaptado de Silva et al., 2017)

Tipo de infraestructura verde	Definición	Ejemplos
Basada en ecosistemas naturales	Conservación y restauración de hábitats que pueden ir acompañadas de otras medidas para aumentar la resiliencia de los ecosistemas.	Restauración de humedales para recuperar biodiversidad y servicios hidrológicos (México) Rehabilitación de dunas para aumentar la resiliencia frente a inundaciones y la biodiversidad (Brasil)
Basada en ecosistemas artificiales	Rehabilitación de ecosistemas. Características naturales, como la vegetación, pueden modificar los ecosistemas para devolverlos a una forma más natural.	Construcción de un arrecife de coral artificial para recuperar superficie de playa (México)
Ingeniería blanda	Alteración de las medidas tradicionales de ingeniería dura para cambiar los procesos físicos, ciertos beneficios pueden obtenerse indirectamente de los procesos naturales que se mantienen (por ejemplo, la formación de dunas después de regeneración de playa). Depende de los procesos ecológicos para tener éxito.	Construcción de una duna artificial para proteger frente a ráfagas de arena (México) Empleo de madera de coco como estructura costera de protección frente a inundaciones (Brasil)
Ingeniería dura mejorada ecológicamente	Infraestructura civil tradicional, aunque su diseño incluye adaptaciones para mimetizar el funcionamiento de los sistemas naturales de los ecosistemas.	Medidas pos-tsunami (Chile)
Retirada de ingeniería	Eliminación de las estructuras costeras duras y/o blandas para recuperar el sistema y avanzar hacia un funcionamiento más natural.	Rehabilitación de playa con medidas correctoras: eliminación de estructuras (República Dominicana)

Soluciones basadas en medidas no estructurales

Tabla 53.

Síntesis de medidas de adaptación no estructurales. Factores generales que inciden en la eficacia en la reducción de riesgo costero: marco colaborativo y de responsabilidad compartida, altura de ola, nivel del mar, duración de tormenta. (Fuente: USACE, 2013)

Política y gestión de llanuras de inundación	Protección contra inundación y reducción de impacto	Alerta de inundación y preparación	Reubicación
			
<p>Beneficios/Procesos Desarrollo mejorado y controlado de llanuras de inundación Reducción de la probabilidad de daños Mejora del entorno natural costero</p> <p>Factores de eficacia Altura de ola Nivel del mar Duración de la tormenta Colaboración de la agencia</p>	<p>Beneficios/Procesos Reducción de la probabilidad de daños Mayor resiliencia comunitaria Sin aumento del potencial de inundación en otros lugares</p> <p>Factores de eficacia Altura de ola Nivel del mar Duración de la tormenta</p>	<p>Beneficios/Procesos Reducción de la probabilidad de daños Mayor resiliencia comunitaria Mayor concienciación y responsabilidad públicas</p> <p>Factores de eficacia Altura de ola Nivel del mar Duración de la tormenta</p>	<p>Beneficios/Procesos Reducción de la probabilidad de daños Sin aumento del potencial de inundación en otros lugares Mejora del entorno natural costero</p> <p>Factores de eficacia Altura de ola Nivel del mar Duración de la tormenta</p>

Catálogo de medidas de adaptación: Taxonomía.

Las clasificaciones de medidas de adaptación anteriores son genéricas. Sin embargo, en esta Guía se propone, con base en las diferentes estrategias y medidas posibles, un catálogo de medidas de adaptación que tiene como objetivo, facilitar la elaboración de planes de adaptación.

Para ello, se realiza una selección de medidas de adaptación que se asocian con las diferentes estrategias de adaptación, construyendo una taxonomía con una caracterización homogénea de las mismas. Esto facilitará que, una vez se ha optado por una estrategia de adaptación, los especialistas o gestores puedan optar por una o varias medidas de adaptación que puedan satisfacer los objetivos de reducción del riesgo formulados.

Dentro de cada estrategia se han identificado diferentes medidas de adaptación siguiendo un diseño conceptual semejante al utilizado en las clasificaciones anteriormente descritas. Estas medidas se agrupan en cuatro grandes familias: medidas naturales, basadas en procesos naturales, estructurales y no estructurales. Sin embargo, y aunque son las más utilizadas, no deben considerarse excluyentes..

- Las medidas naturales hacen referencia a aquellos subsistemas naturales o ecosistemas que prestan los servicios ecosistémicos necesarios para contribuir a la reducción del riesgo. Como tal, evolucionan en el tiempo a partir de acciones físicas, biológicas y geológicas, así como por los procesos químicos que operan en la naturaleza. Las estructuras naturales costeras pueden tomar infinitas formas y entre ellas se encuentran, por ejemplo, arrecifes, islas-barrera, dunas, playas, humedales y bosques marítimos.
- Las medidas basadas en la naturaleza surgen de una intervención humana realizada por medio de la ingeniería, la construcción o restauración, así como el trabajo con los propios procesos naturales. Al igual que las naturales aportan un sinfín de beneficios, tanto para los ecosistemas como para la protección de las costas. Son unas medidas que funcionan de modo análogo a como lo hacen las naturales.
- Las medidas estructurales son medidas físicas, generalmente basadas en las estructuras tradicionales de disminución de la erosión y la inundación, así como la reducción de la energía del oleaje. Estas medidas incorporan los avances de la tecnología para proporcionar una mayor adaptabilidad de estas estructuras a los procesos dinámicos costeros, lo que permite pasar de estructuras duras a semiduras, de fijas a móviles, y de monofuncionales a multifuncionales. Asimismo, se amplía de forma notable el abanico de beneficios y hace que se integren en la construcción de paisajes con las medidas antes descritas.

- Las medidas no estructurales son las concebidas para complementar las anteriores y operan en relación con aspectos sociales, de gobernanza, regulación o económicas y están destinadas, principalmente a reducir la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades. Aquí se incluyen también todas las disposiciones dirigidas a facilitar procesos de mejora y de equidad social frente a los riesgos.

Para facilitar la comprensión de las medidas de adaptación utilizadas en este plan, se ha adoptado por realizar una representación particular de las mismas, Figura 31. Así, cada una de las medidas está representada por una figura o píldora, que contiene una representación simplificada de la actuación que implica. Asimismo, cada píldora tiene un color que representa la familia a la que pertenece dicha medida.

Figura 31.

Esquema de la representación adoptada para las medidas de adaptación con base en la taxonomía descrita.



De esta manera, se han identificado una serie de medidas de adaptación genéricas, aplicables a las problemáticas locales existentes a lo largo de la costa. A continuación, las Figuras 32, 33, 34 y 35, muestran las medidas identificadas por cada estrategia de adaptación usando para ello la taxonomía descrita. Posteriormente, se describirá cada una de ellas en un formato de ficha que detalla sus características principales y que se agrupan en el Anexo 7.

Figura 32.
Estrategia de protección. Medidas de adaptación.

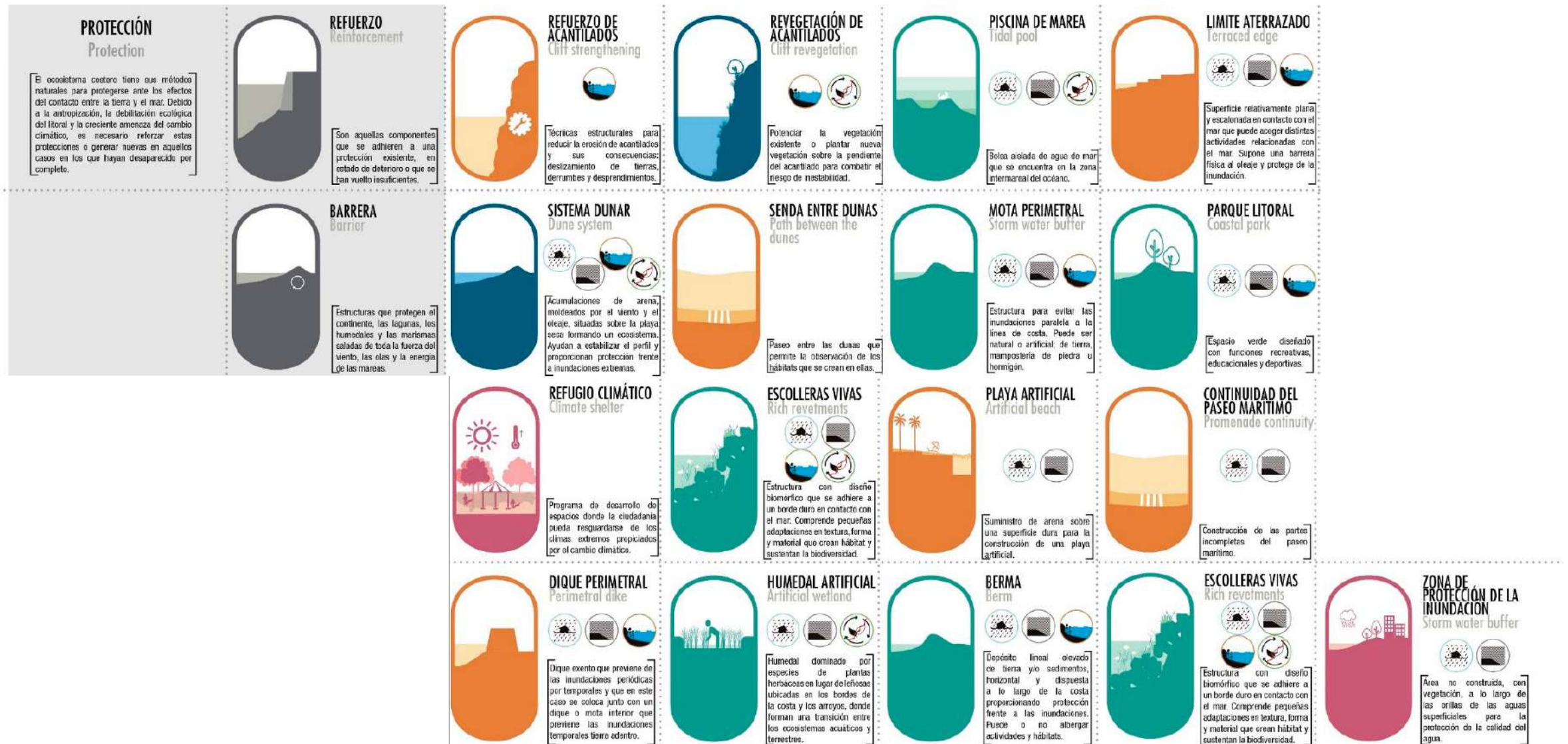


Figura 33.
Estrategia de avance. Medidas de adaptación.



Figura 34.
Estrategia de acomodación. Medidas de adaptación.

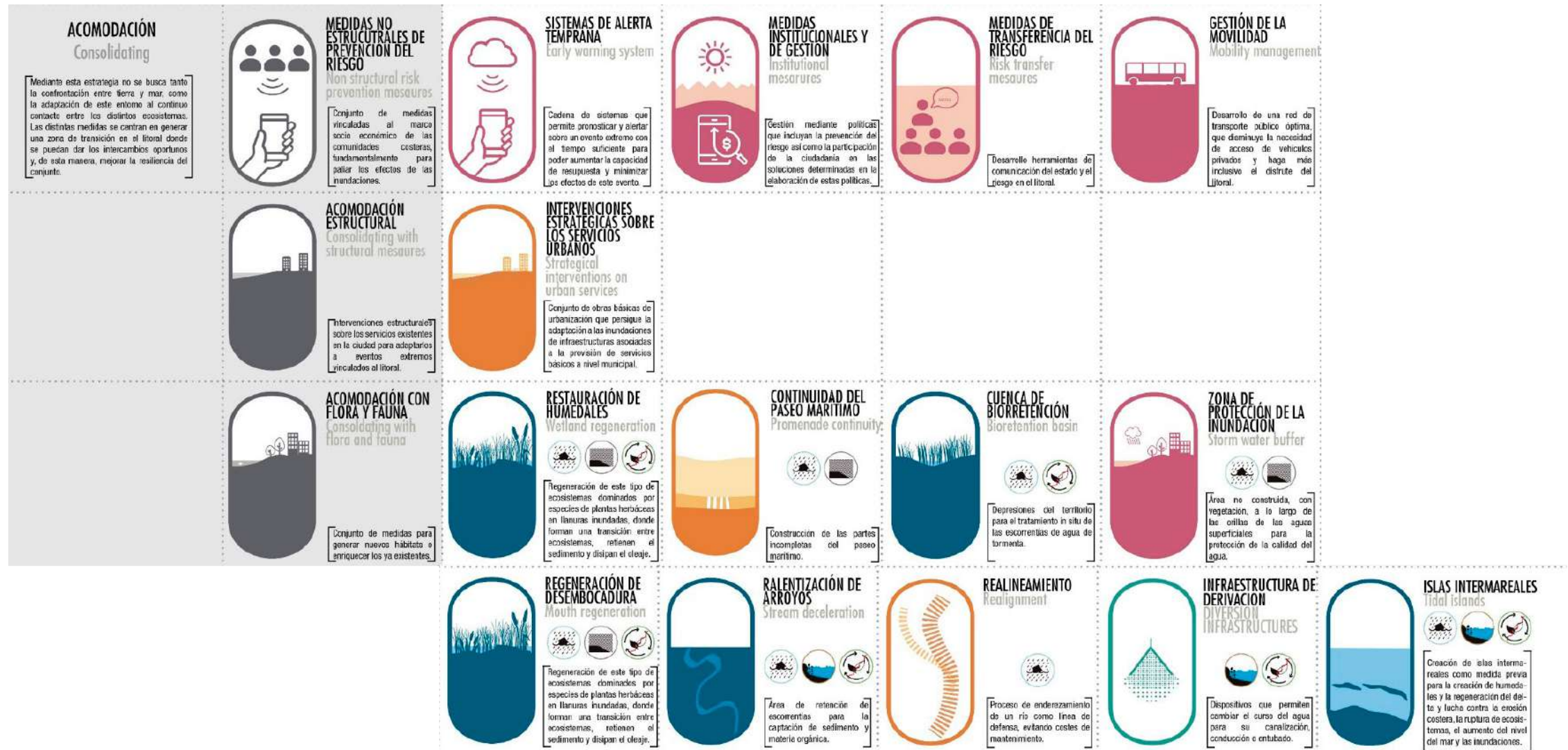


Figura 35.

Estrategia de retroceso - Medidas de adaptación

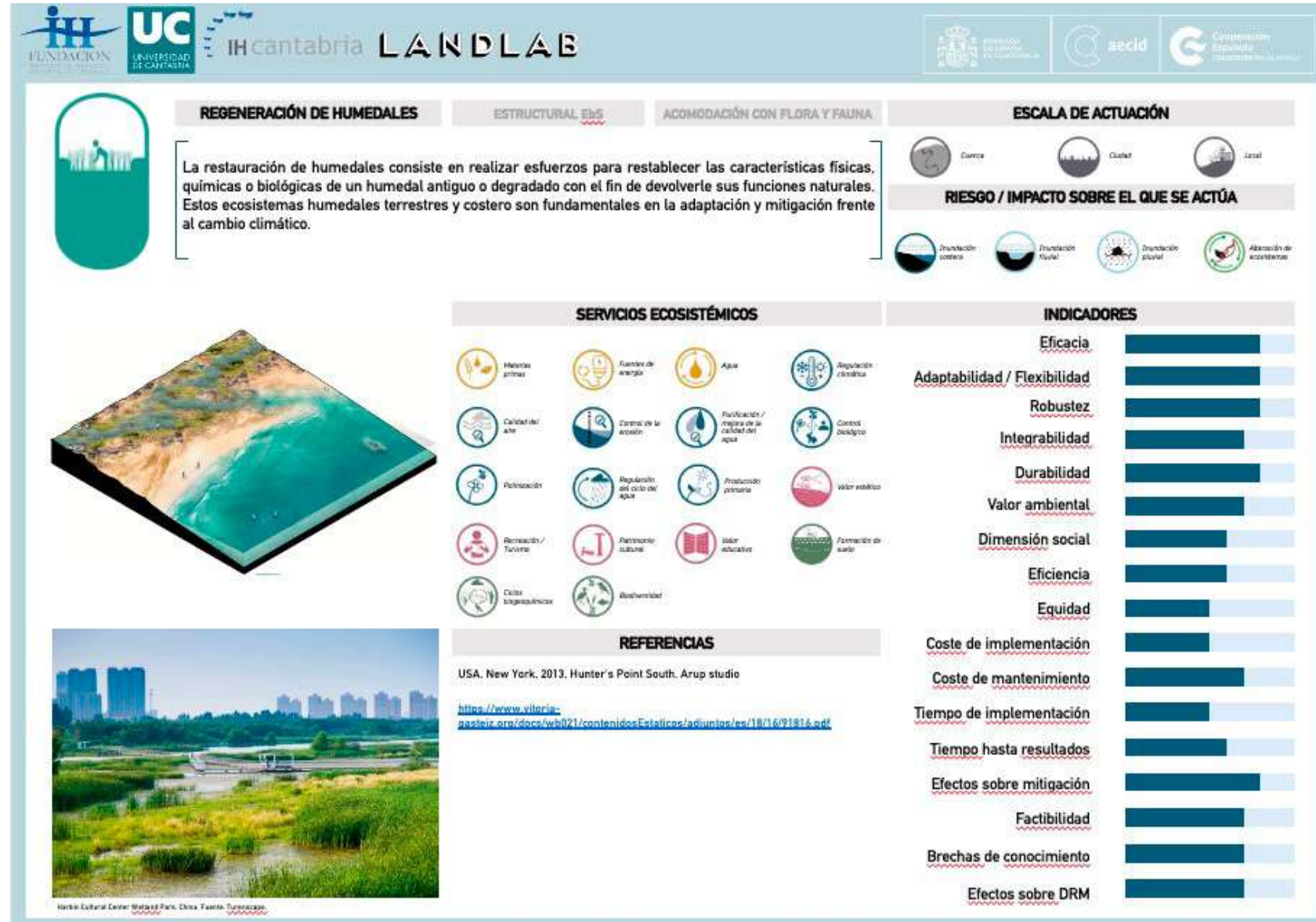


Para cada una de las medidas identificadas en la sección anterior se han elaborado fichas que describen las características principales de la medida (Ver ejemplo de ficha en la Figura 36).

Cada ficha incluye:

- Nombre de la medida, familia y estrategia.
- Breve explicación del racional de su aplicación y/o implementación.
- Escala de actuación.
- Riesgos/impactos sobre los que actúa.
- Bloque de paisaje descriptivo.
- Servicios ecosistémicos sobre los que aplica.
- Referencias de su aplicación.
- Evaluación indicadores de interés.

Figura 36.
Ejemplo de ficha de medida de adaptación



Un aspecto adicional relevante, es que cada ficha incluye un conjunto de indicadores que permite identificar y comparar las medidas entre sí, analizando sus posibles beneficios, co-beneficios y limitaciones. Los indicadores incluidos son los siguientes (ver Tabla 54):

Tabla 54.
Indicadores incluidos en cada ficha

INDICADOR	DEFINICIÓN
Eficacia	Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera. Una solución es tanto más eficaz cuando consigue mayor intensidad en los resultados buscados.
Adaptabilidad/ Flexibilidad	Capacidad de acomodarse o ajustarse a circunstancias diferentes a las de diseño. Una solución es adaptable a largo plazo cuando muestra capacidad de evolucionar en el futuro.
Robustez	Capacidad de mantener su efectividad y utilidad ante diferentes escenarios futuros a largo plazo. Una solución es más robusta cuando muestra capacidad de asumir variabilidad en las condiciones del entorno.
Integrabilidad	Capacidad de una medida para ser implementada y operada en conjunto con otros sistemas. Una solución es tanto más integrable cuanto más capaz se muestre de integrarse en soluciones a mayor escala.
Durabilidad	Capacidad de mantener su eficacia y eficiencia a largo plazo. Una solución dura más cuanto más se puede extender en el tiempo manteniendo el servicio que presta.
Valor ambiental	Capacidad de valorar y proteger los ecosistemas y los recursos naturales. Una solución tiene mayor valor ambiental cuanto mejores condiciones ambientales se creen para la supervivencia de los ecosistemas.
Dimensión social	Capacidad de abordar las necesidades y preocupaciones sociales de las comunidades afectadas. Una solución tiene mayor dimensión cuanto mayor es la extensión del servicio social prestado, en el sentido de incorporar valor de usos sociales o de solucionar conflicto entre actividades.
Eficiencia	Capacidad de lograr los objetivos de una manera efectiva con los recursos disponibles, maximizando los beneficios y minimizando los costos y los impactos negativos. Una solución es más eficiente cuanto mejor uso haga de los recursos empleados.
Equidad	Capacidad de asegurar una distribución justa y equitativa de los costos y beneficios entre diferentes grupos sociales, económicos y culturales. Una solución es tanto más equitativa cuanto más capaz se muestre de atender específicamente las necesidades de los grupos menos favorecidos, minorías, niveles de renta más bajos, mujeres.
Coste de implementación	Capacidad de asegurar que los recursos financieros necesarios están disponibles y son sostenibles a largo plazo. Es el coste asociado al diseño y puesta en marcha de la medida. Incluye todos los recursos necesarios para ello: estudios previos, material, puesta en obra si procede, mano de obra, etc... Este indicador es tanto mayor cuanto menor sea el coste de implementación.
Coste de mantenimiento	Capacidad de ser financiada y sostenible a largo plazo después de su implementación. Es el coste de la medida una vez se ha implementado. Este indicador pretende dar una medida de los recursos necesarios para mantener las características funcionales de la medida. Este indicador es tanto mayor cuanto menor sea el coste de mantenimiento.

INDICADOR	DEFINICIÓN
Tiempo de implementación	Capacidad de ser implementada en un plazo de tiempo adecuado y oportuno. Es el tiempo que pasa desde que se decide la medida a implementar hasta que ésta se considera como implementada. Este indicador es mayor, cuanto menor sea el tiempo.
Tiempo hasta lograr resultados	Capacidad de lograr resultados tangibles y significativos en un plazo de tiempo razonable. Es el tiempo que pasa desde que la medida ha sido implementada hasta que dicha implementación comienza a generar el servicio para el que se diseñó. Este indicador es tanto mayor cuanto menor sea el tiempo hasta lograr resultados.
Efectos sobre la mitigación	Capacidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este indicador es tanto más alto cuanto mayores efectos positivos tiene sobre la mitigación.
Factibilidad técnica	Capacidad de ser implementada y mantenida con éxito, en términos de su diseño, tecnología y viabilidad técnica. Una medida es tanto más factible técnicamente cuanto mayor disponibilidad exista de los recursos necesarios para su implementación, tales como herramientas, equipos, habilidades, experiencia, etc.
Brechas de conocimiento científico	Capacidad de abordar las brechas de conocimiento científico, la brecha de conocimiento hace referencia al grado de desarrollo científico del concepto que sustenta la medida, de la experiencia técnica previa existente respecto de su puesta en marcha, de la existencia de prototipos o modelos que sustentan la utilidad de su aplicación. Este indicador es tanto mayor cuanto mayor es la brecha de conocimiento.
Efectos sobre el DRM	Capacidad para reducir la vulnerabilidad de las comunidades a los riesgos climáticos y mejorar su capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos. Una medida tiene un efecto mayor sobre el DRM cuanto más contribuya de manera paralela a mejorar adicionalmente la gestión del riesgo de desastres. Este indicador es tanto mayor cuanto mayores y mejores sean dichos beneficios.

Como ya se ha comentado, en el Anexo 7, se muestran las fichas de todas las medidas de adaptación que recoge la Taxonomía de la Guía para cada estrategia. Para cada una de las Fichas, la magnitud asociada a cada uno de los indicadores se ha obtenido a través de un conjunto de talleres en los que han participado expertos de diversas disciplinas y con una extensa experiencia en zonas costeras.

Asimismo, el Anexo 8, incluye un conjunto adicional de medidas de adaptación aplicables en entornos portuarios.

Viabilidad administrativo-legal, técnica, económica, social y ambiental. Barreras.

A pesar de que las fichas anteriores recogen para cada medida un conjunto de indicadores que dan información sobre si una medida puede o no ser adecuada para los objetivos de adaptación planteados, existen un conjunto de aspectos adicionales que será necesario abordar durante el proceso de planificación pero que dependen, en gran medida, del contexto en el que se estén planificando.

Así, soluciones que son totalmente viables desde el punto de vista administrativo-legal en unos tramos de la costa o países, puede que no lo sean o que requieran el desarrollo o la modificación de normativa específica para su implementación.

De igual manera, soluciones técnicamente viables en unas localizaciones, como la reforestación con manglares, puede que no lo sean en otros por el tipo de especie o el nivel de energético en la zona de reforestación. De igual modo, será necesario analizar la viabilidad económico-financiera durante el proceso de planificación. Además de una evaluación específica de los costes de implementación, será necesario hacer un análisis de los costes de mantenimiento, operación y seguimiento, así como de los instrumentos financieros de los que se puede hacer uso para garantizar su viabilidad.

En muchas ocasiones, la adaptación requiere instrumentos financieros imaginativos y poco convencionales que pueden ser desarrollados, tanto para su aplicación a nivel local, como regional.

Los aspectos sociales y ambientales suelen ser también críticos en algunas ocasiones. Por ello, y como se ha incluido entre los principios fundamentales de la adaptación, se recomienda que la selección y planificación de las estrategias y medidas se haga como un proceso de co-creación o co-diseño en el que los diferentes agentes interesados y comunidades afectadas participen de forma activa desde el comienzo.

Paso 4

Evaluación de la reducción del riesgo

Una vez realizada una selección preliminar de estrategias y opciones de adaptación posibles, es necesario hacer una evaluación del nivel de reducción de riesgo que se alcanzaría mediante su implementación. Así como la solución preliminar puede sustentarse en los criterios y parámetros que se recogen en las fichas anteriormente descritas, la evaluación del riesgo se puede abordar siguiendo dos aproximaciones:

- En aquellos casos en los que se parta de un análisis del riesgo de Nivel 1 o Nivel 2, no será posible cuantificar de forma exacta la capacidad de reducción del riesgo que aporte una medida de adaptación concreta. En estas situaciones se deberá recurrir a estudios pasados que sirvan de guía a la hora de estimar la reducción del riesgo que se puede esperar, o bien a evaluar la eficacia de cada una de las medidas planteadas realizando un taller de trabajo en el que se cuente con la participación de expertos de diferentes ámbitos que, a través de criterio experto, sean capaces de determinar la capacidad de reducción de cada una de las medidas.
- En los análisis del riesgo de Nivel 3 se deberá realizar un nuevo modelado de los impactos considerados, teniendo en cuenta los cambios que las medidas de adaptación planteadas pueden introducir sobre elementos como la batimetría, la topografía, la aparición de nuevas infraestructuras de defensa, el conjunto de los elementos expuestos o los cambios en la vulnerabilidad de los mismos.

Figura 37.
 Aplicación de la taxonomía de medidas de adaptación al distrito de La Punta (Perú).



Paso 5**Evaluación económica, social y ambiental de las medidas, y toma de decisiones**

El objetivo último del proceso de toma de decisiones es elegir la opción de adaptación más idónea de entre el conjunto de opciones de adaptación planteadas. La idoneidad de una medida puede venir determinada por varios factores (eficacia, coste, nivel de detalle del análisis, interés social o gubernamental...) por lo que no se puede definir una metodología única, sino que el proceso que se siga al final vendrá determinado por todos estos factores.

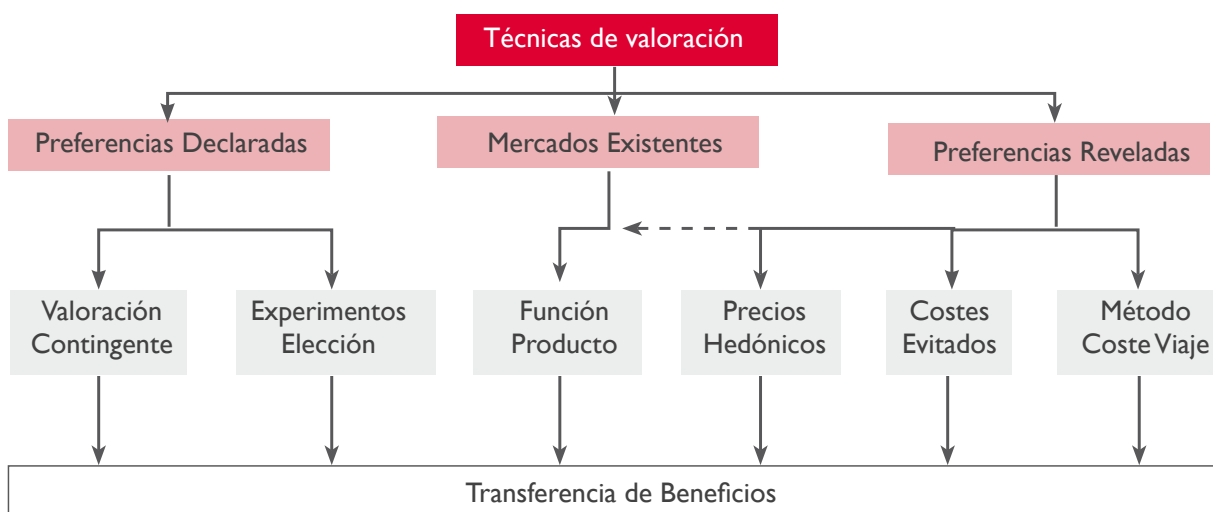
En principio, el punto de partida en todo caso será la comparación de los costes y los beneficios (ambos entendidos en un sentido amplio, incluyendo los financieros, sociales y medioambientales) asociados a cada una de las opciones de adaptación. Para poder realizar esta comparación, se debe de proceder, en primer lugar, a su cuantificación, tarea para la cual pueden darse varias situaciones:

- Para cada coste y beneficio se puede obtener una monetización del mismo, expresado en unidades monetarias que midan la valoración social de los mismos.
- Para cada coste y beneficio se puede obtener una valoración cualitativa a través de indicadores homogéneos (alto, medio bajo, semáforos o similares a través de valoraciones de expertos o participación social). Estos indicadores se pueden integrar en valoraciones cualitativas, o complementar otras evaluaciones cuantitativas con ajustes cualitativos.
- Para cada coste y beneficio se puede obtener una valoración indiciaria, a través de índices no monetarios representativos de la situación existente y la modificación obtenida. (% reducción de la agitación del oleaje)
- Para cada coste y beneficio se puede obtener una cuantificación detallada de la contribución con magnitudes no monetarias. Así un proceso de regeneración de una playa puede cuantificarse por el volumen de arena aportada, por la superficie de playa generada, por la reducción de probabilidad de rebase.

Todos estos procedimientos de cuantificación deberían permitir amplio su inclusión en un balance de costes y beneficios, si bien en un sentido estricto tan sólo las valoraciones monetarias permitirían la aplicación de la metodología del análisis coste-beneficio (ACB). Como alternativa, las metodologías de evaluación de análisis coste-eficacia requerían solamente una monetización de los costes de implementación, mientras que los análisis multicriterio podrían admitir todo tipo de valoraciones.

Siendo deseable por tanto tener los costes y beneficios monetizados, existen diferentes técnicas de monetización de estos impactos propuestas por la teoría económica. Dichos procedimientos requieren un tratamiento riguroso y deben tratarse con cautela para evitar discrepancias que afecten al proceso de toma de decisiones. Estos métodos de monetización existentes se pueden agregar en dos grandes familias: por un lado, los basados en la observación de los comportamientos de los agentes afectados en ámbitos en los que estén revelando sus preferencias y valoraciones (y denominados modelos de preferencias observadas); y por otro lado, aquellos que agrupan los métodos basados en la declaración expresa de los afectados sobre sus preferencias (modelos de preferencias declaradas). Dichos métodos no deben ser confundidos con los sistemas de participación ciudadana y han de ser tratados rigurosamente para garantizar su significatividad.

Figura 38.
Métodos de valoración de costes y/o beneficios de opciones de adaptación.



Una vez recabada la información relativa a la cuantificación de los costes y beneficios de las diferentes opciones de adaptación, se debe proceder con su comparación y evaluación. De entre las metodologías disponibles a este proceso de evaluación se pueden encontrar los siguientes:

- **Análisis cualitativo:** se caracterizan problema y alternativas por atributos cualitativos enfocados a la gravedad del problema, la utilidad de la solución y el coste de la misma.
- **Análisis por indicadores:** se caracteriza el problema por indicadores cuantitativos que sin describir exhaustivamente ni el fenómeno ni la solución dan una idea somera de su cuantificación.
- **Análisis coste-eficacia:** el problema se cuantifica, pero no se monetiza por completo. La elección se realiza por ratios coste-eficiencia, como por ejemplo podría ser vidas salvadas por millón de dólares gastado.
- **Análisis coste-beneficio:** el problema se cuantifica y monetiza por completo, de forma que se puede extraer la contribución neta positiva de cada medida, descartar las medidas de saldo negativo y medir la eficiencia relativa de las medidas.
- **Análisis multicriterio:** el problema se cuantifica con toda la información disponible pero la decisión no se basa en un criterio único como en el ACB (eficiencia), sino que se cuantifica la contribución a diversos distintos objetivos.

Basado en esta clasificación, se proponen tres niveles de evaluación de medidas de adaptación compatibles y coherentes con los niveles de evaluación de riesgos que han sido propuestos en esta Guía:

NIVEL I

En este nivel se contaría exclusivamente con descripciones cualitativas de los distintos costes y beneficios de las opciones de adaptación propuestas, así como de su utilidad o eficiencia, acompañados eventualmente por indicadores cuantitativos parciales.

Son esta información, se deberá proceder a clasificar las alternativas según una combinación de utilidad y coste que permitiría eventualmente ordenarlas de manera cualitativa (por ejemplo, utilidad alta con coste bajo, utilidad media con coste bajo, etc.). No obstante, en este enfoque no será necesariamente objeto de evaluación la necesidad de la actuación ni la eficiencia real de las propuestas. Este nivel, será por tanto adecuado sólo cuando la necesidad de actuación sea indiscutible y no se cuente con un mayor nivel de detalle de la información.

Cuadro 18.
Ejemplo Nivel I.

EJEMPLO NIVEL I

Partimos de un conjunto de cuatro posibles opciones de adaptación con las que reducir los niveles de riesgo de una zona costera (tabla adjunta, primera columna, “Medida”).

En este primer nivel de evaluación (Nivel I) se dispone de una visión simplificada, basada en índices obtenidos de una apreciación cualitativa de los beneficios (segunda columna, “Beneficios”) y los costes (tercera columna, “Costes”) con criterio experto.

Medida	Beneficios adicionales e indirectos	Costes Actuación	Comentarios
Dique de escollera transitable	Bajos	Altos	A estudiar en detalle
Dique semisumergido	Nulos	Bajos	
Recrecimiento de la duna	Altos	Bajos	Parece un buen candidato
Abandono de actividad	Muy Negativos	Nulos	Descartado

De la comparación de los beneficios y costes surgen inmediatamente un conjunto de valoraciones subjetivas (cuarta columna, “Comentarios”) que permiten una primera jerarquización y descartes de las opciones de adaptación. Así, según este primer nivel de análisis se descartaría la alternativa 4 (inacción y abandono), y aunque no permite decidir entre 1 y 2, los resultados obtenidos sugieren que la alternativa 3 podría resultar una opción interesante.

NIVEL II.

En este nivel se encuentran las situaciones en que las propuestas de adaptación han sido adecuadamente cuantificadas, pero no todos los efectos, aportaciones o costes de las opciones han sido monetizados con los métodos descritos previamente. Esta situación es típica de procesos de difícil monetización o de naturaleza delicada, que afectan por ejemplo vidas humanas o pérdidas sensibles irreversibles.

En estos casos, el método de coste-eficacia resulta el más adecuado, recurriéndose a ratios de indicadores como coste de cada vida salvada, eligiéndose la solución coste eficiente más apropiada. Este método no garantiza que la solución propuesta sea eficiente, es decir que ofrezca una solución justificable para el daño evitado, y se emplea en casos en que la decisión de actuación está fuera de la discusión. Como se ha indicado este nivel de análisis puede incluir una aproximación cualitativa que complete la visión ofrecida y permita ajustar la evaluación.

Cuadro 19.

Ejemplo Nivel II.

EJEMPLO NIVEL II

En el segundo nivel de evaluación (Nivel II) se produce una valoración basada en información parcial los costes de tres propuestas homogéneas. No se desarrollan los estudios de detalle, pero se dispone de una estimación de la eficacia de las distintas opciones, medidas en una unidad no monetizada (por ejemplo, reducción de superficie afectada por la inundación).

Esto permite calcular una ratio eficacia-coste (columna 5, "E/C") y establecer un ranking en función del mismo.

Medida	Mantiene actividad	Eficacia	Coste	E/C	Ranking E/C
Dique de escollera transitable	SI	30,000	12,000	2.5	3°
Dique semisumergido	SI	30,000	8,000	3.75	1°
Recrecimiento de la duna	SI	31,000	10,000	3.1	2°
Abandono de actividad	NO	0	No aplica	No aplica	Descartada

En este caso se plantean tres soluciones que cumplen los objetivos y se elige la más barata, pero el modelo resulta ciego con respecto a otros aspectos complementarios.

NIVEL III.

En este nivel se tratan aquellas situaciones en que, o bien el problema ha sido adecuadamente cuantificado y las consecuencias positivas (beneficios) y negativas (costes) han sido monetizadas con los métodos propuestos previamente, o bien la complejidad del problema obliga a combinar factores claramente monetizables, con otros factores, cuantificados o no, lo que exige una valoración multicriterio (más allá de la eficiencia). Esta situación corresponde con las situaciones en las que se recurre a los ACB típicos y con los análisis multicriterio.

Dentro del primer grupo de situaciones en las que se puede recurrir al empleo de un ACB, es necesario definir dos condicionantes básicos para la evaluación. El primero es la determinación del horizonte temporal del análisis. Se trata de determinar la duración de los efectos que se consideran legítimos para contemplar la evaluación. A este respecto ha de valorarse la obsolescencia de los eventuales elementos construidos, su deterioro futuro y los cambios en la valoración futura de los servicios prestados. Modernamente se alarga el escenario para incluir el ciclo de vida de las actuaciones convirtiendo el ACB puro en un análisis de Ciclo de Vida.

El segundo es la decisión sobre la tasa de descuento a emplear. Cuando los costes tienen lugar en un momento concreto en el tiempo y los beneficios en otro, es una práctica habitual descontar los costes y los beneficios en periodos futuros aplicando una tasa adecuada para estimar el valor presente de dichos costes y beneficios futuros. Las tasas propuestas por la mayor parte de los estudios varían entre el 1,4% (Stern, 2007) y el 1,5% (Cline, 1992) hasta el 6% (Nordhaus, 1994). Cuanto más alta sea la tasa de descuento, menor será el valor de beneficios

futuros descontados y menores serán las opciones de adaptación justificadas en términos coste-beneficio.

Es importante destacar que este tipo de análisis plantea unas necesidades de recursos (económicos, humanos y temporales) mucho mayor que las aproximaciones anteriores, pero el detalle que proporcionan igualmente es mucho mayor.

La metodología análisis coste-beneficio no es única y común, sino que existen múltiples variantes de esta metodología según autores (Newnan, 2012), con 9 fases, (Park, 2015), con 6, (Blank et al), con 7, (Boardman, et al 2020), con 10. No obstante, de forma genérica se puede hacer la siguiente propuesta:

1. Determinación de objetivos de la evaluación, y sus alternativas.
2. Determinación de impactos (costes e ingresos).
3. Selección de impactos relevantes.
4. Monetización de impactos relevantes.
5. Obtención de indicadores de rentabilidad (NPV; IRR, CB ratio).
6. Análisis de sensibilidad.
7. Análisis de riesgos

Los pasos de 1 a 4 se han explicado con anterioridad. En el paso 5, se debe obtener un indicador de rentabilidad siendo los siguientes los más empleados de forma tradicional:

Valor Actual Neto (VAN). Este indicador evalúa una cuantía monetaria equivalente a los flujos previamente monetizados que recogen los impactos de cada medida, asumiendo que la tasa de descuento representa el “interés” a cargar al proyecto para contemplar el coste de oportunidad de los recursos empleados. Permite rechazar cualquier alternativa cuyo valor agregado no supere un mínimo fijado

$$VAN(B_t, C_t, r) = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = I_o + \sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Tasa interna de rentabilidad (TIR). Al ser el VAN de una alternativa dependiente de la tasa de descuento empleada, con una relación decreciente con la misma, y asumiendo que con la introducción de esta variable se trata de imponer una

suerte de carga financiera al proyecto, cabe preguntarse qué tasa de descuento máxima puede imponerse a los flujos financieros que caracterizan la alternativa sin que el valor acumulado del mismo se haga negativo. Para esa tasa ocurre que el valor presente de los beneficios iguala al de los costes y su expresión, adimensional, nos muestra directamente la eficiencia o rentabilidad de la solución.

$$VP(B_t, r) = VP(C_t, r)$$

Este resultado debe compararse con el umbral mínimo de rentabilidad socialmente exigible, desechándose todas las propuestas incapaces de generar ese mínimo exigido, que muestran una TIR inferior al umbral.

$$TIR > \text{Mínima } r \text{ aceptable}$$

Razón Beneficio Coste (B/C). Se adopta como indicador una razón adimensional, que presenta valores superiores a 1 para proyectos rentables (con beneficios mayores que los costes) e inferiores para valores de costes superiores a los beneficios. Donde VP representa la suma de los beneficios descontados

$$\frac{B}{C} = \frac{VP(B_t)}{VP(C_t)}$$

Por último, puesto que la evaluación realizada ha de conducir a una propuesta de actuación y a una alternativa, es fundamental tener en consideración que el resultado que se obtenga estará obviamente condicionado por la significatividad de los datos aportados y de los parámetros de evaluación elegidos. La práctica habitual y las normativas existentes recomiendan realizar un análisis de sensibilidad y un análisis de riesgo para estimar la estabilidad de los indicadores y por tanto de las decisiones propuestas ante desviaciones en los datos. El análisis de sensibilidad tiene un carácter determinista, permitiendo obtener un conjunto de escenarios de rentabilidad, mientras que el análisis de riesgo proporciona una visión probabilística de los mismos.

Cuadro 20.
Ejemplo Nivel III.

EJEMPLO NIVEL III

En el tercer nivel (Nivel III), mediante el empleo de un ACB todos los impactos (beneficios y costes) se estudian y cuantifican en detalle. Además, mediante el empleo de la tasa de descuento se obtiene su valor descontado (columnas 2 y 3). Se puede obtener un beneficio neto (diferencia entre beneficios y costes, columna 4) que expresa la utilidad o excedente generado por cada opción de adaptación, lo que permite obtener una jerarquización de las opciones en función de este valor.

Medida	Beneficios Descontados (um)	Costes Descontados (um)	Beneficio neto (Ben – Cos)	Ranking B-C
Dique de escollera transitable	32,000	14,400	17,600	3
Dique semisumergido	30,000	8,000	22,000	1
Recrecimiento de la duna	31,000	10,000	21,000	2
Abandono de actividad	0	-30,000	-30,000	4

Dentro del segundo grupo de situaciones (análisis multicriterio) es necesario definir para su ejecución dos vectores de información:

- Vector de indicadores que se consideran relevantes para medir la contribución de las opciones de adaptación y que se desean combinar en una evaluación sintética. En este proceso es importante elegir una combinación representativa del fenómeno con indicadores independientes, (que no se vean condicionados unos por otros), y que se ajuste a las percepciones colectivas.
- Vector de pesos relativos de cada indicador, que han de reflejar las preferencias colectivas sobre el problema evitado y la solución propuesta o en su caso la importancia de los atributos distintivos de cada alternativa a la hora de condicionar la solución.

Cuadro 21.

Ejemplo Nivel III. Análisis Multicriterio.

EJEMPLO NIVEL III. ANÁLISIS MULTICRITERIO.

En una aplicación del tercer nivel (Nivel III) mediante un análisis multicriterio, se evalúan cada una de las opciones de adaptación en base a distintos criterios. En este ejemplo se valora el coste de la medida, su beneficio como uso recreativo y un criterio de otros. Cada uno de ellos posee un peso relativo diferente, en función de la importancia asignada.

El valor final viene determinado por la agregación de los distintos factores multiplicados por sus pesos relativos. Este valor final es el que se emplea para determinar el orden de prioridad.

Concepto	Dique transitable	Dique sumergido	Duna recrecida	Abandono
Costes (0.35)	3,000	7,000	5,000	15,000
Recreativo (0.45)	27,600	30,000	31,000	0
Otros (0.20)	2,000	0	0	0
Valor final	13,870	15,950	15,700	5,250
Ranking	3	1	2	4

En un análisis multicriterio se combinan con más libertad todos los factores y se crea una métrica más flexible y adaptable a las preferencias colectivas. Así, si el vector de preferencias fuera otro, las alternativas podrían cambiar de orden.

Por ejemplo, si tras un debate con los medios sociales, se acordase incorporar una valoración cualitativa de la calidad ambiental del resultado, con un peso del 25%, a partir de la EIA que atribuye un puntaje (adimensional) a las soluciones de adaptación, el análisis multicriterio adoptaría la siguiente configuración.

Concepto	Dique transitable	Dique sumergido	Duna recrecida	Abandono
Costes (0.35)	3,000	7,000	5,000	15,000
Índice	20	47.7	33.3	100
Recreativo (0.45)	27,600	30,000	31,000	0
Índice	92	100	103.3	0
Otros (0.20)	2,000	0	0	0
Índice	100	80	30	50
Índice ambiental (0.25)	50	81.68	65.65	47.5
Valor final	80.9	1	3	4
Ranking	2			

Se comprueba que los requisitos formales del análisis multicriterio son muy importantes, y que decisiones como una elección del límite de costes de 15,000 es tan importante como el peso atribuido.

El desarrollo de los pasos anteriores deberá producir una jerarquización o priorización de las opciones de adaptación, ordenadas con criterios derivados de los indicadores elegidos con la metodología planteada.

No obstante, a modo de análisis de sensibilidad, es habitual realizar una revisión ex-post de todo el proceso seguido y del resultado que se centra en los puntos más sensibles del método planteado. Estos puntos son habitualmente:

- Indicadores de datos recogidos empleados en Nivel I
- Valoraciones de los beneficios producidos y los costes generados
- Indicadores de resultados elegidos (VAN, TIR, B/C)
- Tasa de descuento aplicada
- Pesos incorporados al multicriterio

Otros métodos

Para abordar las grandes incertidumbres de las proyecciones de cambio climático, se han desarrollado recientemente algunos otros métodos más enfocados a la gestión de dicha incertidumbre, entre los que se incluyen:

- trayectorias de adaptación (adaptation pathways).
- mapeo de decisiones (decision mapping).
- trayectorias dinámicas de políticas adaptativas (dynamic adaptive policy pathways).
- toma de decisiones robusta (robust decision making).
- elaboración de políticas adaptativas (adaptive policy making).

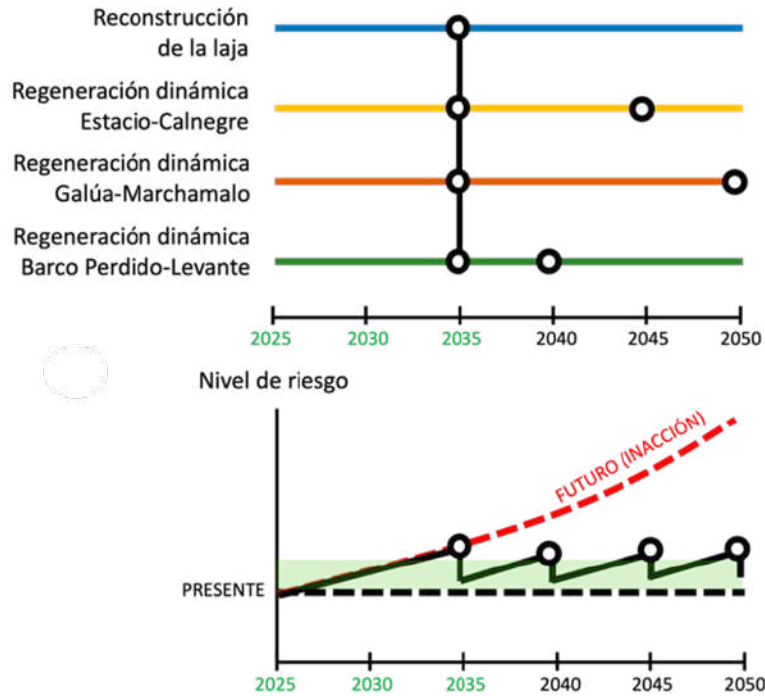
Sin embargo, a nivel de esta Guía no se va a desarrollar este segundo conjunto de métodos, dado que todavía no se han elaborado con el nivel cuantitativo suficiente en aplicaciones en zonas costeras.

La Figura 39 muestra una aplicación de trayectorias de adaptación aplicado en el Plan de Adaptación del Borde Costero de la Manga del Mar Menor. En este caso, se optó porque la implementación de las medidas seleccionadas se hiciera antes de 2035 con el fin de garantizar que los objetivos de adaptación fueran alcanzados en 2050.

Como puede observarse en la figura, las trayectorias adaptativas favorecen la toma de decisiones en un marco de incertidumbre planificando la implementación de acciones en función de la evolución del riesgo.

Figura 39.

Ejemplo de trayectorias de adaptación aplicado en el Plan de Adaptación del borde costero de La Manga del Mar Menor (España).



En la parte superior de la Figura se pueden ver las distintas opciones de adaptación planteadas, así como los instantes temporales en los que se produciría su implementación. Así, en el año 2035 se desarrollarían todas ellas (reconstrucción de laja/arrecife y regeneraciones dinámicas mediante aportación de arena en distintas playas). Para mantener el nivel de riesgo en un nivel admisible (marcado en verde en el gráfico inferior), sería necesario realizar nuevas intervenciones (nuevas regeneraciones dinámicas en las playas) en años sucesivos.

Paso 6**Redacción del plan de adaptación**

El equipo de trabajo deberá redactar el plan de adaptación de acuerdo con las exigencias propias de cada país en el que se desarrolle. Aunque los planes de adaptación pueden sustentarse en análisis del riesgo pre-existentes, la práctica más habitual es que el plan de adaptación que contenga su propio análisis de riesgo o, al menos, incluya una descripción detallada de los cambios esperados en el clima, los impactos y riesgos sobre los sistemas o regiones en las que se pretende actuar.

Los contenidos mínimos recomendables de un plan de adaptación son los siguientes:

- Introducción
 - Antecedentes y contexto
 - Ámbito de aplicación del plan y actores/agentes principales interesados
- Principios y objetivos generales del plan
- Horizontes temporales y escenarios de trabajo
- Evaluación del riesgo y oportunidades
 - Resumen de la aproximación metodológica empleada
 - Cambios observados y proyectados en el clima
 - Resultado del análisis de riesgos
 - Análisis de otros posibles riesgos no considerados (externos al sistema, etc)
 - Evaluación de la capacidad adaptativa del sistema
 - Identificación de posibles oportunidades
 - Fuentes de incertidumbre en el análisis de riesgos

- Planificación de la adaptación
 - Caracterización y criterios para la selección de las medidas de adaptación
 - Medidas de adaptación

Para cada medida o conjunto de medidas:

- Objetivo y justificación
 - Descripción de la medida
 - Indicadores fundamentales (efectividad, criticidad, intensidad, escala temporal y plazos, etc)
 - Coste estimado, beneficios y co-beneficios esperados
 - Compatibilidad y efecto sinérgico con otras medidas
 - Capacidades técnicas, económicas y legales para su implementación
 - Potenciales amenazas y barreras para su implementación
 - Compatibilidad con otras políticas, estrategias o planes
 - Descripción y análisis de incertidumbres
- Re-evaluación del riesgo con las medidas implementadas
 - Evolución temporal del riesgo y nivel de reducción de riesgo alcanzado
 - Conclusiones y priorizaciones para el plan de implementación

En general, los planes de implementación suelen ser específicos para la implementación de alguna o varias de las medidas detectadas durante el proceso de planificación de la adaptación. No obstante, es también recomendable incluir en el plan de adaptación una última sección específica relativa al plan de implementación y seguimiento del mismo destinado al menos a:

- Fijar la entidad o entidades responsables de la implementación y seguimiento
- Describir la estrategia de implementación y seguimiento estableciendo: prioridades, cronograma y fuentes de financiación posibles, acciones y resultados esperados.

Paso 7**Plan de implementación****Establecimiento del alcance y objetivos de la implementación**

Una vez finalizado el plan de adaptación, será necesario redactar un plan de implementación que deberá comenzar identificando el alcance y objetivos de la implementación. Esto deberá emanar de la conjunción entre los riesgos identificados y su evolución; los niveles de riesgo admisibles para el sistema, las necesidades en términos de acciones que garanticen la viabilidad de las medidas que se pretende implementar o los recursos disponibles.

Marco institucional de la implementación

La situación de forma general en Latinoamérica y Caribe así como en España en materia de adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos se caracteriza por una gobernanza multinivel y un marco institucional fragmentado, ya que es habitual que las competencias estén distribuidas horizontalmente entre una multiplicidad de actores y descentralizadas verticalmente en diferentes niveles territoriales.

Si bien esto permite la implementación de acciones específicas del lugar, para abordar éstos desafíos en relación con la adaptación al cambio climático, prevención de riesgos y resiliencia ante desastres a nivel regional y local, varios factores dificultan la adopción de avances efectivos y eficientes en la implementación. Estos factores incluyen la integración insuficiente entre la adaptación y la prevención de riesgos, las disparidades regionales en el desarrollo de políticas y la asignación de recursos y una débil coordinación vertical y horizontal a nivel nacional y regional.

Resulta por lo tanto necesario realizar un análisis de cuál es la situación imperante en el área de estudio en términos de gobernanza y competencias, identificando

los agentes claves que estarán involucrados en la implementación y seguimiento del plan de adaptación.

Es sumamente frecuente en los países a los que va dirigida esta Guía que las competencias en materia de gestión de la costa no residan en el mismo organismo de la administración responsable de la adaptación al cambio climático. Más aún, dentro de un mismo tramo de la costa pueden converger competencias de la administración nacional, generalmente en el borde costero, con competencias de la municipalidad que es responsable de una gran parte de la costa en sentido amplio.

La búsqueda de modelos de implementación que permitan la co-existencia de una visión más sistémica e integrada de la costa, en la que se busquen sinergias intersectoriales o interterritoriales, con el respeto a las competencias en la implementación de medidas a nivel local, es el modelo más adecuado para abordar la adaptación en la costa.

Finalmente, es necesario hacer constar que entre los países RIOCC el tratamiento de la costa dentro de sus Planes Nacionales de Adaptación (NAP) es diversa y que lo mismo ocurren con los planes de adaptación subnacionales que se han elaborado en varios de nuestros países.

Diseño y ejecución de los proyectos de adaptación

Toda vez que se tienen establecidos el alcance y objetivos del plan de implementación, así como el análisis del marco administrativo, el siguiente paso es proceder con el diseño y ejecución de los proyectos de las medidas de adaptación seleccionadas.

Esto implica, en primer lugar, la elaboración de los proyectos asociados a cada una de las medidas de adaptación. Estos proyectos deben seguir su propio proceso, que incluye en primer lugar, definir claramente sus objetivos, identificar las limitaciones técnicas y determinar los recursos disponibles. A continuación, se procederá con la propia redacción del proyecto, que deberá incluir una memoria, un conjunto de anejos, planos detallados de la solución propuesta y un documento detallando el presupuesto de ejecución.

Llegado este punto, es necesario tener en consideración que, para la ejecución del proyecto de implementación de cada una de las medidas de adaptación seleccionadas, será necesario cumplir con los requerimientos administrativos que se detallan en la legislación, incluyendo fases de exposición pública y evaluaciones de impacto ambiental, si así fuera.

Superados todos estos procesos, se deberá proceder a la propia ejecución de los proyectos.

Paso 8

Plan de seguimiento

Como cualquier otro plan, el cumplimiento de objetivos y eficacia solo puede determinarse mediante un programa adecuado de seguimiento y evaluación. En este paso se deben sentar las bases para la definición y planificación de un programa de seguimiento que deberá definirse de manera específica con la aprobación del plan de adaptación final.

Los contenidos mínimos que debe contener un plan de seguimiento y evaluación son los siguientes:

- Establecimiento del alcance y objetivos del plan de seguimiento.
- Determinación de los indicadores de seguimiento y estrategia de muestreo.
- Estrategia de gestión y control de calidad de los datos. Análisis de incertidumbres.
- Establecimiento de la línea base.
- Evaluación de costes del seguimiento.
- Informes de seguimiento: estructura, contenidos y fines.

Establecimiento del alcance y objetivos del plan de seguimiento

En relación con el alcance, este tiene siempre dos ámbitos: el espacial y el temporal. Desde el punto de vista espacial, es evidente que el seguimiento

a realizar cubre toda la zona de estudio. No obstante, lo anterior, sería interesante considerar, en función de la tecnología y medios disponibles, si la cobertura espacial debería extenderse para considerar otras zonas de la costa cercana y con las que el área de estudio puede tener una interacción relevante en cualquier aspecto (físico, morfológico, social, económico o medioambiental). Las tecnologías existentes en la actualidad permiten diseñar sistemas de seguimiento haciendo uso de datos de satélite, caso en el que parece lógica plantear esta extensión de la zona de estudio, de manera que se permita analizar de una forma mucho mejor las interacciones anteriormente descritas.

Desde el punto de vista temporal, es necesario distinguir entre el propio horizonte de implementación de las medidas de adaptación propuestas, que puede ser un horizonte de corto a medio plazo (menos de 10 años), y el horizonte temporal que se plantee en el contexto de los objetivos de reducción del riesgo, que generalmente se plantean para horizontes mayores, en el medio-largo plazo (mitad de siglo, año 2050, o más allá incluso).

En cuanto, al objetivo del programa de seguimiento se puede definir como la obtención de información acerca del grado de cumplimiento de los objetivos propuestos y, por tanto, de la eficacia de la implementación de las medidas propuestas.

Indicadores de seguimiento

En cuanto a indicadores se refiere, por un lado, es necesario analizar el grado de consecución de la implementación del plan. Para ello, se debe utilizar un conjunto de indicadores que contribuyan analizar el nivel de ejecución alcanzado de manera cuantitativa. Su selección definitiva dependerá de los contenidos del plan finalmente aprobado. Como punto de partida, se presenta un conjunto, en la Tabla 54, un conjunto de indicadores recomendados por la Estrategia España de Adaptación al Cambio Climático en la Costa.

Tabla 55.
Indicadores recomendados por la Estrategia Española de Adaptación al Cambio Climático en la Costa.

OPCIÓN	CATEGORÍA (1)	CATEGORÍA (2)	INDICADORES DE SEGUIMIENTO
Diagnóstico y análisis de riesgos	Tecnología Información	Protección Acomodación Retroceso	- Número de diagnósticos globales realizados - Número de diagnósticos de alta resolución realizados
Regeneración de playas y dunas	Ingeniería Ecosistemas	Protección	- Número de playas regeneradas - m1 de playas regeneradas - m2 de playa regenerada - Número de sistemas dunares regenerados - m3 de arena destinados a regeneración de playas - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Creación de playas y dunas artificiales	Ingeniería	Protección	- Número de playas regeneradas - m1 de playas regeneradas - m2 de playa regenerada - Número de sistemas dunares regenerados - m3 de arena destinados a regeneración de playas - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Gestión de sedimentos	Ingeniería Ecosistemas	Protección	- número de actuaciones de gestión de sedimentos - m3 de transporte de arena restaurado - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Construcción de nuevas estructuras de protección (muros, paseos)	Ingeniería	Protección	- Número de estructuras de defensa construidas - m1 de línea de costa protegida mediante nuevas estructuras - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Construcción de nuevas estructuras o elementos artificiales para mantener la línea de costa (diques exentos, espigones, geotextiles, etc.)	Ingeniería	Protección	- Número de estructuras de defensa construidas - m1 de línea de costa protegida mediante nuevas estructuras - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Adecuación funcional y estructural de las infraestructuras y edificaciones existentes	Ingeniería	Acomodación	- Número de infraestructuras intervenidas - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Normativa y códigos de adecuación	Ingeniería Leyes y regulación	Acomodación	- Número de normativas y códigos modificados

OPCIÓN	CATEGORÍA (1)	CATEGORÍA (2)	INDICADORES DE SEGUIMIENTO
Realineación de estructuras existentes en la línea de costa	Ingeniería Comportamiento	Retroceso	- km de costa con realineación - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Adquisición de terrenos	Comportamiento	Retroceso	- Superficie de terreno adquirido para retroceso - € invertidos en adquisición de terrenos - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Cambios en el uso del suelo	Comportamiento Leyes y regulación	Acomodación	- Superficie de terreno con usos de suelo modificado - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)
Capacitación y concienciación	Educación Información	Otras	- Número de eventos/materiales de divulgación de capacitación y concienciación - Número de personas implicadas en eventos de capacitación y concienciación
Reducción de barreras y limitaciones	Información Educación Leyes y regulaciones Políticas y programas gubernamentales	Otras	- Número de barreras, limitaciones identificadas - Número de barreras, limitaciones superadas
Integración en la toma de decisiones	Leyes y regulaciones Políticas y programas gubernamentales Información Economía	Otras	- Número de procesos de integración del cambio climático en la toma de decisiones - Número de reuniones de coordinación y participación social - Número de agentes sociales implicados
Evaluación de servicios prestados por ecosistemas costeros	Economía Información	Otras	- número de sistemas naturales costeros para los que se han cuantificado los servicios ecosistémicos
Gestión de concesiones	Políticas y programas de la administración	Acomodación Retroceso	- Numero de concesiones modificadas para favorecer la adaptación - Superficie o ml de costa afectada por modificaciones en la gestión de concesiones para favorecer la adaptación - % de reducción de riesgo o de consecuencias (*)

Por otro lado, para conseguir el objetivo establecido, cada uno de los proyectos de implementación de medidas de adaptación deberá incluir su propio plan de seguimiento. Esto permitirá garantizar su funcionalidad e impedir la implementación de medidas de adaptación que acaben generando efectos indeseados.

Dado que el objetivo propuesto es esencialmente reducir los riesgos, el seguimiento de cada una de las medidas deberá analizar la evolución de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad en el entorno de la medida implementada, para ver así cuál es su contribución real a la reducción del riesgo. Asimismo, se deberá recabar información sobre la evolución de impactos y daños ante eventos extremos.

Una vez realizado el análisis para cada medida, se deberá integrar la información para calcular la evaluación del riesgo en todo el ámbito territorial considerado en el plan para hacer un cálculo agregado del riesgo y verificar su desviación con respecto al objetivo del plan. Para que estas desviaciones se puedan cuantificar, se recomienda hacer una selección de indicadores medibles en el corto plazo con la resolución espacial y temporal suficiente, la representatividad y replicabilidad necesarias para garantizar la robustez y solidez de las medidas de seguimiento. La lista de indicadores contendrá al menos información sobre:

- o Indicadores climáticos (dinámicas marinas relevantes para la inundación y la erosión de la costa). Históricos provenientes de observaciones y proyectados a futuro provenientes de modelos climáticos.
- o Indicadores de exposición y vulnerabilidad directamente vinculados con los sectores socioeconómicos más relevantes en el sistema costero. Serán tanto observados como proyectados ante diferentes escenarios.
- o Indicadores de riesgo y diferencia con respecto a umbrales de riesgo aceptables.
- o Indicadores sobre la efectividad de las medidas implementadas.
- o Datos relativos a impactos derivados de eventos meteorológicos extremos (daños sobre activos, población, infraestructuras, playas, etc.).

Obsérvese que amenaza, impacto, exposición y vulnerabilidad son aspectos que utilizan unas métricas muy diversas. Mientras que en el primer caso es necesario conocer aspectos como cambio en el aumento del nivel medio del mar y niveles extremos o en el oleaje, las otras dos componentes utilizan métricas relacionadas con evolución de la población, usos de suelo, aspectos sociales o económicos por lo que, en general, su obtención debe implicar a diferentes entidades y diferentes fuentes de datos.

En la Tabla 55, se muestran algunos indicadores de seguimiento establecidos en la Estrategia Española. Estos se completan de manera detallada en el Anexo 6 de esta Guía con indicadores adicionales.

Tabla 56.
Indicadores de seguimiento establecidos en la Estrategia Española

COMPONENTE AMBIENTAL	INDICADORES	FUENTES POSIBLES MITECO	VALOR PERIODO DE BASE	VALOR MEDIDO	VALOR ESPERADO	GRADO DE CUMPLIMIENTO (%)
AGUA, COSTAS Y MEDIO MARINO	• Longitud de la costa actual (km)					
	• Regresión de la línea de la costa (m)					
	• Balance sedimentario de las playas (m3)					
	• Longitud de costa actual que corresponde a playas (km)					
	• Incremento del nivel del mar (m)					
	• Número y porcentaje respecto al total, de infraestructuras de defensa instaladas en la costa.					
	• Número y porcentaje de obras de protección que pierden su funcionalidad por la subida del nivel del mar.		MITECO			
	• Superficie adquirida e incorporada al DPMT (m2)					
	• Longitud deslindada (km)					
	• Longitud de estructuras marítimas implantadas (m)					
	• Superficie protegida o rehabilitada de humedales y tramos fluviales costeros (m2)					
	• Superficie protegida o rehabilitada de sistemas dunares costeros (m2)					
	• Superficie de áreas degradadas recuperadas o restauradas (m2)					
	• Extensión de la inundación (km2)					
	• Nivel de agua (m)					
	• Número de personas que pueden verse afectadas					
	• Tipo de actividad económica que puede verse afectada (m2 por uso de suelo)					
• Número de instalaciones críticas afectadas (ENTRE OTROS)						

Estrategia de muestreo

Una vez definidos los indicadores que mejor responden a las necesidades del seguimiento será necesario definir los siguientes aspectos adicionales.

En primer lugar, es necesario determinar quiénes serán las entidades responsables de la recogida de datos, su procesamiento, análisis, y elaboración del informe de seguimiento. En general, suele ser necesario que exista una colaboración a este respecto entre todas las administraciones implicadas en la zona de estudio, aunque una de ellas debe ser en última instancia la responsable de la consolidación del informe de seguimiento, así como de coordinar las diferentes actividades necesarias.

Por otro lado, igualmente importante es describir la metodología, instrumentación a utilizar, frecuencia de recogida y medida de datos, y localizaciones en las que proceder. Estos aspectos dependerán en todo caso de los indicadores finalmente seleccionados, pero es igualmente necesario e importante analizarlos y decidir cómo se va a proceder.

Es necesario destacar que, dado que el seguimiento se plantea por un periodo de varias décadas, será necesario considerar que, debido a los avances en las técnicas de toma y tratamiento de datos, la metodología o estrategia podría sufrir cambios en el tiempo. En dicho caso, debe prevalecer como criterio fundamental no perder la coherencia en el análisis, de tal modo que sea posible mantener el análisis de tendencias y su evolución.

Estrategia de gestión y control de calidad de los datos. Análisis de incertidumbre.

En función de los indicadores y de las decisiones tomadas en los puntos anteriores, será necesario especificar cuál va a ser el postprocesado, los criterios para el control de calidad y la metodología para determinar y comunicar la incertidumbre. Esta cuestión es crítica pues de su aplicación dependerán los resultados del seguimiento y, por tanto, la decisión de si se sigue la planificación de adaptación marcada o si será necesario intervenir para garantizar los objetivos o para evitar problemas de adaptación inadecuada (maladaptación).

Establecimiento de la línea base

En este aspecto hay que considerar dos líneas base diferentes. Respecto de la del seguimiento. Sería deseable hacer un levantamiento preciso de los indicadores seleccionados antes de la implementación de cada medida de adaptación, por lo que el proyecto de implementación de cada medida debería incluir dentro de sus tareas y objetivos la determinación de la línea base.

Sin embargo, siendo realistas con la situación de las costas y a la escala a la que se puede estar planteando el plan de adaptación, lo probable será que sea necesario trabajar con información de diferentes fuentes y tomada en diferentes años por lo que, por criterios de homogeneidad, se deberá tomar una fecha relativamente reciente como la línea base para fijar los objetivos de reducción del riesgo.

Esto implica que será necesario tener en cuenta posibles diferencias en las bases de datos e introducir este factor dentro del análisis de la incertidumbre.

Cuadro 22.

Contribución: "La adaptación costera en Uruguay a través de un monitoreo compartido".

CONTRIBUCIÓN:

"La adaptación costera en Uruguay a través de un monitoreo compartido".

Mónica Gómez Erache

Sus diferentes usos para análisis del cambio climático

La información generada por el programa de monitoreo implementado contribuye a mejorar el conocimiento que se tiene sobre el comportamiento morfodinámico de las playas de arena que conforman la costa del país.

Estos sistemas morfodinámicos son forzados por agentes climáticos, como el oleaje, el viento, la marea meteorológica y las descargas fluviales. Por un lado, se destaca que contar con modelos fiables

que vinculen a estos agentes con el comportamiento de las playas, es una herramienta que permite evaluar los cambios esperados en los sistemas producto de cambios en los agentes asociados a escenarios de cambio climático, y de esta forma incorporar dicha información en la planificación de medidas de adaptación. La confianza en los modelos se obtiene a partir del análisis comparativo de sus resultados con las mediciones generadas por el programa de monitoreo.

Caracterización técnica.

El programa de monitoreo costero en base a imágenes combina tres fuentes de información: cámaras de video, imágenes satelitales y fotos de celulares. De esta forma se cubre toda la costa del país con las imágenes satelitales, y se tiene un mayor detalle en sitios identificados como prioritarios debido al riesgo de erosión e inundaciones costeras que presentan, a partir de los sistemas de cámaras de video y las estaciones coastsnap (fotos de celular)

Los sistemas de cámaras de video implementados consisten en 3 cámaras de resolución 4K instaladas de forma de que, manteniendo el mínimo solapamiento necesario, cubrir la mayor extensión longitudinal posible de la costa. Estas cámaras se colocan en azoteas de edificios altos sobre la costa, y están conectadas a un gabinete, que contiene una computadora que controla el funcionamiento de las cámaras, permite el acceso remoto al sistema, procesa la información generada, y sube parte de dicha información a la nube. El gabinete está equipado con elementos que robustecen el sistema: UPS, ventilador, llave térmica y diferencial, luz de emergencia, y dispositivos de protección contra descargas eléctricas; así como un modem inalámbrico que permite el acceso remoto y la conexión a internet. Estos gabinetes están bajo

Por otro lado, el análisis estadístico directo de los datos generados (ej. posición de la línea de costa) permite generar alertas sobre posibles huellas del cambio climático en la morfología costera, lo cual es de utilidad para definir donde priorizar nuevos estudios sobre el impacto del cambio climático en la costa, así como tener resultados primarios sobre tendencias de cambio de largo plazo.

techo, en los edificios donde se instalan las cámaras, y se conectan a la red eléctrica del edificio.

A la fecha se han instalado cuatro sistemas: CostaAzul (departamento de Rocha), Piriápolis (departamento de Maldonado), Atlántida (departamento de Canelones) y playa Ramírez (departamento de Montevideo). En todos los casos, las cámaras hacen videos de 10 minutos cada una 1 hora. De cada video, se guarda la imagen promediada, una captura instantánea, y un *timestack* y se suben a la nube. A su vez, se almacena un video por día y por cámara.

En lo que respecta a las imágenes satelitales, se aplicó la herramienta coastsat (<https://github.com/kvos/CoastSat>) a toda la costa del país, presentando los resultados en transectas espaciadas cada 100 m. Mientras que para la foto de celular se está llevando adelante la aplicación local del proyecto global de ciencia ciudadana CoastSnap (<https://www.coastsnap.com/>). Al momento se encuentran instaladas las primeras 3 estaciones, se instalarán en breve 2 estaciones más ya coordinadas con los gobiernos locales, y se están coordinando otras hasta llegar, en esta instancia, a un total de 12 estaciones, 2 por cada uno de los 6 departamentos costeros.

Estados de implementación de los planes.

Están las 4 estaciones de cámaras de video funcionando. Se están generando resultados de posición de línea de costa a partir de las imágenes promediadas generadas, y se está trabajando en la incorporación de nuevos algoritmos que permitan medir más variables. Se procesó toda la costa del país con CoastSat. Se está

haciendo un control de calidad de los resultados y se espera que en el primer semestre del 2023 queden abiertamente disponibles en una página web creada para ello. Se instalaron 3 estaciones CoastSnap, está coordinada la instalación inminente de 2 más, y se apunta llegar a 12 en el 2023.



Evaluación de costes del seguimiento

Una vez establecidos los puntos anteriores será necesario hacer una evaluación de los costes de seguimiento. Dado que, en sentido estricto, el seguimiento debe mantenerse, al menos, durante el periodo de vigencia del plan, y deseablemente hasta el horizonte objetivo de reducción de riesgo, la evaluación de costes deberá tener en cuenta este aspecto.

Como se ha descrito anteriormente, las fases de implementación y evolución del riesgo serán los dos factores que determinen el cumplimiento o no del riesgo aceptable. Por tanto, el seguimiento será la base sobre la que se sustenten las decisiones relativas a la necesidad de nuevas acciones o un elemento esencial para evitar una adaptación inadecuada de la costa

Informes de seguimiento: estructura, contenidos y fines

Una vez aprobado el programa de seguimiento, deberá establecerse la estructura, contenidos y fin último de los informes de resultados.

Independientemente de la frecuencia en la toma de datos que se determine para cada indicador, dada la experiencia anterior, se recomienda que se elabore un informe de seguimiento, al menos, cada 5 años. Se considera que este periodo es suficiente para detectar la evolución del riesgo. No obstante, lo anterior, durante los primeros 5 años desde la implementación de una medida se recomienda realizar al menos 2 informes, para detectar la respuesta de muy corto plazo que suele generarse después de una intervención en la costa.

Los informes de seguimiento deberán integrar todas las actuaciones que se hayan implementado hasta el momento y un somero análisis de la incidencia de medidas todavía no implementadas.

Además, de presentar de forma independiente los indicadores locales para cada medida deberá presentar un cálculo del riesgo integrado para toda la zona del área de estudio y su comparación con el riesgo de referencia, explicando cuáles son las causas principales que contribuyen al aumento o disminución del

riesgo. Asimismo, deberá tener una sección específica para analizar los riesgos de adaptación inadecuada.

Adaptación inadecuada (maladaptación) y medidas correctoras

Entre los objetivos fundamentales del seguimiento está realizar una evaluación de si alguna de las medidas de adaptación implementadas o de su interacción con otro tipo de actuaciones sobrevenidas puede conducir a una adaptación inadecuada. Es decir, si existen procesos por los que la medida de adaptación no consigue generar la reducción de riesgo deseada, aumenta el riesgo o introduce consecuencias ambientales, sociales y económicas no deseadas.

Por ello, será necesario que en la evaluación de los resultados del seguimiento se analice, de manera detallada:

- Existencia de intervenciones de origen antrópico que puedan tener incidencia sobre las medidas de adaptación.
- Posibles efectos en cascada, indirectos o compuestos derivados de cambios en el clima que no fueran considerados en este estudio inicial y que puedan conducir a una adaptación inadecuada.
- Tendencia y evaluación de los indicadores de riesgo seleccionados, así como de sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad (ver Anexo 6).
- Diferencias entre el riesgo aceptable objetivo y el evaluado para cada medida y efecto sobre la estrategia global de adaptación.
- Aparición y evolución de efectos sociales, ambientales o económicos, no deseados por el efecto de la implementación de las medidas de adaptación.

En el caso de detectarse situaciones de adaptación inadecuada deberán establecerse medidas correctoras que se determinarán y dimensionarán con el objetivo de dar cumplimiento a los niveles iniciales del riesgo aceptable en el horizonte temporal establecido para el plan de adaptación.

Financiación

El adecuado desempeño de los procesos de implementación de las medidas incluidas en el plan requerirá un seguimiento detallado de los mecanismos de ejecución, específicamente en su vertiente financiera para garantizar que se siguen los objetivos y procedimientos establecidos por las autoridades administrativas competentes en materia fiscal. Queda fuera del ámbito de este documento identificar a los agentes responsables de dicho proceso de control, ya que esto es materia definida en el ordenamiento administrativo vigente.

No obstante, se considera relevante señalar los siguientes aspectos de interés de cara a conseguir un resultado exitoso:

- **Financiación del proceso de seguimiento.** Dado que el proceso de seguimiento debe garantizar que se hace un seguimiento de los indicadores seleccionados para analizar la evolución del riesgo y la eficacia de las medidas de adaptación durante, al menos, el horizonte temporal objetivo del plan de adaptación, es necesario asegurar la estabilidad de la financiación necesaria para la ejecución del seguimiento. El proceso de seguimiento es pues un capítulo en sí mismo, de especial relevancia para garantizar que eventuales reajustes, no comprometan el éxito del programa.
- **Temporalización del gasto en seguimiento.** Se entiende que la dotación asignada debe estar garantizada durante toda la vida del programa. El instrumento más adecuado es una asignación anual de presupuestos garantizada. Como se ha indicado anteriormente la identificación de la agencia responsable de dotar de cobertura financiera al proceso ha de ser definida por las administraciones competentes involucradas. Sin embargo, cabe destacar que la complejidad del entramado administrativo afectado convierte la decisión en dudosa, ya que la asignación directa a la entidad implementadora del proyecto de la medida de adaptación puede proporcionar una visión fragmentada de la situación, mientras que la atribución a una agencia u organismos superior o externo puede desvirtuar el conocimiento extraído de los indicadores recolectados. En todo caso, el establecimiento de acuerdos de colaboración inter-administraciones, tanto multinivel como multiárea es una opción altamente recomendable para financiar este seguimiento.

- **Capacidad Técnica.** Dada la capacidad técnica necesaria para la realización del proceso de recogida de indicadores, la agencia elegida para la realización del seguimiento debería, al menos, contar con el apoyo de la administración responsable de los programas integrales de gestión costera, así como con la colaboración de las administraciones locales, cuando éstas estén dotadas de los medios físicos y humanos necesarios para cumplir con los objetivos de monitorización fijados en este plan. En todo caso potenciales mecanismos de transferencia de capacidades a las administraciones locales serán siempre recomendables

Paso 9

Re-evaluación del plan de adaptación

Son varias las razones fundamentales para proceder a la re-evaluación del plan de adaptación. Por un lado, será necesaria una re-evaluación si la implementación de las medidas de adaptación no conduce a los objetivos de reducción de riesgo formulados o si evidencia que los niveles de riesgo tolerables van a ser superados en un horizonte temporal muy anterior al planificado. Asimismo, será necesaria una re-evaluación en el caso de que el seguimiento ponga de manifiesto procesos de maladaptación o efectos co-laterales de la implementación de las medidas no deseables.

El otro marco que puede conducir a una re-evaluación o reformulación del plan de adaptación es que las nuevas proyecciones climáticas disponibles conduzcan a incrementos importantes de la peligrosidad que impliquen niveles de riesgo o plazos para llegar a niveles de riesgo admisibles, no deseables. Asimismo, estos niveles de riesgo podrían alcanzarse si en el sistema considerado se producen importantes incrementos de la exposición o de la vulnerabilidad que conduzcan a invalidar el análisis de riesgos sobre el que se sustenta el plan de adaptación. Esto puede producirse, por ejemplo, por una transformación completa de los usos del suelo del sistema costero sometido a evaluación.

Paso 10

Plan de comunicación

El cambio climático y la gestión de las zonas costeras siempre suelen resultar temas de interés, por lo que es especialmente relevante proceder con la comunicación de los riesgos del cambio climático y las opciones de adaptación seleccionadas. Por ello, acompañando el proceso de la adaptación en las zonas costeras, será necesario desarrollar un plan de comunicación de la misma.

Un plan de comunicación de la adaptación debe plantearse cumpliendo las siguientes premisas:

- Debe de incluirse información abierta, exhaustiva y comprensible, por lo que deberá estar ajustada al mayor público posible.
- Debe de identificar claramente los impactos del cambio climático, así como las potenciales oportunidades que se pueden presentar.
- Debe de describir los procesos seguidos para la realización de los análisis del riesgo.
- Debe de explicar claramente las estrategias y opciones de adaptación elegidas frente a las alternativas descartadas, y su justificación.
- Debe de explicar el plan de implementación y el seguimiento diseñados, así como los resultados que se vayan recogiendo.

Con base a estas premisas, es buena práctica plantearse las siguientes preguntas de cara a formular un plan de comunicación:

- ¿Para qué se realiza la comunicación? ¿Cuál es la intención, el propósito y los objetivos?
- ¿Quién es la audiencia objetivo? ¿Con quién se busca conectar?

- ¿Qué se pretende comunicar? ¿Cuáles son los intereses de mi público objetivo en relación con la intención y propósito?
- ¿Cómo se establece la comunicación? ¿Cuáles son los mejores canales?
- ¿Con qué recursos voy a realizar la comunicación? ¿Qué formato es el más adecuado?

En relación con la primera de las preguntas, el artículo 6 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (“Educación, Formación y Sensibilización del Público”) señala que los procesos de comunicación de los riesgos y adaptación al cambio climático resultan de utilidad para “ampliar el número de personas que estén informadas, educadas y motivadas para enfrentar la crisis climática”. Partiendo de este propósito general, se debe proceder a definir una serie de objetivos específicos a cumplir. En función de los requerimientos legales de cada zona de actuación, uno de estos objetivos puede ser cumplir con la legislación vigente en materia de participación ciudadana, aunque el plan de comunicación de la adaptación debería ser más ambicioso y marcarse otro tipo de objetivos más allá de los definidos legalmente.

Con respecto a la audiencia objetivo, es necesario considerar las diferencias que aparecen sobre la población de un área de estudio en función de su edad, sexo, ocupaciones, niveles de renta, etc. De manera general, y atendiendo a su ocupación principal, podemos distinguir entre los siguientes públicos:

- Sector público
- Sector privado
- Sociedad civil
- Academia
- Cooperación internacional

Los intereses de todos estos grupos son diferentes, y estas diferencias deben de ser tenidas en cuenta en la elaboración del plan de comunicación, de cara a diseñar mensajes correctos que nos ayuden a lograr los objetivos.

El mensaje a comunicar es el núcleo fundamental de un plan de comunicación de la adaptación. Es necesario encontrar la manera más adecuada de transformar los objetivos definidos en mensajes concretos, estratégicos, y a su vez en acciones de comunicación diferenciadas para los distintos públicos objetivo. Una buena práctica puede ser redactar un conjunto de mensajes generales, para a partir de ellos, abordar de una manera personalizada a cada uno de los públicos, especificando los mensajes de acuerdo con las particularidades de la audiencia.

Las últimas dos preguntas tienen que ver con el modo de realizar la comunicación y el formato. En el mundo actual es usual recurrir a medios tecnológicos para realizar la comunicación por lo que podemos distinguir entre canales online ovirtuales y offline o presenciales. Los primeros tienen una vertiente mucho más masiva, permitiendo llegar a grandes cantidades y grupos de personas, mientras que las segundas tienen un carácter mucho más personal y permiten una segmentación y particularización mayor de los mensajes.

Con todas las respuestas anteriores, los objetivos, públicos definidos y modos de comunicación, en materia de elementos y acciones concretas de comunicación, se deben considerar las posibles actuaciones y actividades de comunicación del plan de adaptación a desarrollar. De entre todas las posibles, se pueden destacar como algunas como:

1. Elaboración de un documento resumen de los documentos técnicos generados en el proyecto para su difusión entre el público general.
2. Elaboración de plataformas digitales de información que faciliten la accesibilidad al conjunto de los datos generados durante la elaboración del plan de adaptación.
3. Elaboración de exposiciones que sirvan de vehículo para la difusión del conocimiento existente sobre el impacto del cambio climático, los trabajos desarrollados y las medidas de adaptación propuestas.
4. Elaboración de talleres para técnicos cualificados, destinados a la transferencia de resultados y a la capacitación en materia de adaptación al cambio climático en la costa mediante la transferencia de las metodologías utilizadas para la elaboración de los trabajos.

5. Elaboración de jornadas técnicas dirigidas a la comunidad científica, administración local y regional, empresas y profesionales y sociedad en general, etc. para concienciar sobre la necesidad de la adaptación en la costa; presentación del análisis del riesgo y del plan de adaptación.
6. Difusión en medios de comunicación y redes sociales de los resultados de los trabajos realizados.

Por último, es fundamental definir un sistema de evaluación y seguimiento de la comunicación. El objetivo de este último paso es analizar la efectividad de la estrategia de comunicación y poder tomar las medidas necesarias para ajustar el proceso de comunicación según los resultados que se vayan obteniendo. Es necesario por tanto definir unos indicadores de comunicación y realizar un seguimiento de los mismos, procediendo a su evaluación bien en términos cuantitativos como cualitativos.

Cuadro 23.

Contribución: “Buenas prácticas de adaptación. Establecimiento del contexto local y regional para la implementación de medida AbE en la zona costera del Golfo de México”.

CONTRIBUCIÓN:

“Buenas prácticas de Adaptación. Establecimiento del contexto local y regional para la implementación de medidas AbE en la zona costera del Golfo de México”.

Erwin Armando Martí Flores

El proyecto “Adaptación basada en ecosistemas costeros: Cuenca baja del municipio de Tuxpan, Veracruz y Celestún, Yucatán” fue planteado en el marco del Paquete para el Fortalecimiento de Acción Climática (CAEP)¹⁵ con financiamiento del NDC Partnership para aportar a la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de México, específicamente a la línea de acción C3-Fortalecer instrumentos e implementar acciones para la conservación de la biodiversidad y restauración en ecosistemas marinos, costeros y dulceacuícolas, así como promover el incremento y permanencia de reservorios de carbono, haciendo énfasis en el carbono azul, del Eje C. Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos. La NDC fue actualizada en 2022, sin embargo, los ejes y líneas de acción del componente de adaptación se mantuvieron (GM, et al., 2022; WRI, et al., 2021; GM, et al., 2020).

El objetivo del proyecto es acelerar la implementación de la adaptación basada en ecosistemas (AbE) de carbono azul en Tuxpan, Veracruz y Celestún, Yucatán, dos municipios costeros altamente vulnerables al cambio climático, con la meta de incrementar la resiliencia costera aportando a la capacidad adaptativa de las comunidades y ecosistemas a través del mantenimiento y restauración del manglar, aprovechando sus servicios ecosistémicos.¹⁶

Para lograrlo, se plantearon las siguientes líneas de trabajo:

- Diagnóstico socioambiental y compilación de proyectos previos para identificar esfuerzos previos en manglares,
- Guía para escalar y replicar iniciativas exitosas,
- Análisis y diagnóstico documental de carbono en manglares del Golfo de México,

15. Climate Action Enhancement Package (CAEP), del NDC Partnership es un programa de apoyo a países para fortalecer el proceso de implementación de las ambiciones de mitigación y adaptación al cambio climático propuestas en sus respectivos NDC (<https://enhancement.ndcpartnership.org/>).

16. Los principales servicios contemplados en el estudio son protección ante el oleaje, tormentas y huracanes; y beneficios adicionales como las pesquerías, actividades de turismo y recreación, captura de carbono.

- Análisis costo-beneficio de servicios ecosistémicos provistos por los manglares,
- Sistema de monitoreo y evaluación de medidas de adaptación, y
- Estrategia de socialización del proyecto.

Es importante resaltar que el proyecto fue ejecutado entre abril de 2020 y octubre de 2021, periodo que coincidió con la contingencia sanitaria por COVID-19 ante la que el gobierno de México adoptó como principales medidas el distanciamiento social y la suspensión de actividades económicas, excepto las esenciales. Todo ello requirió ajustes en los alcances y actividades del proyecto y, principalmente, limitó las actividades *in situ*.

El estudio abarcó actividades como: la caracterización socioeconómica y ambiental de los sitios de implementación; un análisis costo-beneficio de medidas AbE, encontrando que el aprovechamiento sustentable es económicamente viable, al casi triplicar las ganancias sobre los costos de implementación. Se identificaron

Caracterización social y ambiental de los sitios

El proyecto se enfoca en los municipios costeros de Tuxpan y Celestún en los estados de Veracruz y Yucatán, respectivamente. La elección de estos sitios obedece principalmente a su ubicación, el Golfo de México, que es una región considerada vulnerable al cambio climático, que depende altamente de las pesquerías, la infraestructura estratégica, la actividad turística, entre otros. Estos servicios han sido afectados por el desarrollo intensivo de la región, lo que ha incidido en la capacidad adaptativa de los ecosistemas y de las poblaciones aledañas.

elementos técnicos, políticos y sociales habilitantes de la implementación de AbE. Se desarrolló también una síntesis de metodologías a escala local para estimar carbono azul en manglares y se presentaron estudios de caso para ambas localidades. Asimismo, se desarrolló un sistema de monitoreo y evaluación (M&E) para evaluar y documentar el proceso de adaptación. Y todo fue planteado de manera participativa para lograr la apropiación local de las medidas a través de una estrategia de socialización identificando los grupos objetivo y los momentos propicios para involucramiento. Para efectos del presente documento, se retoman algunos de estos elementos, particularmente de la etapa de identificación y selección de medidas AbE ya que se enmarca en la Fase I, abarcando los pasos 1.- Establecimiento de contexto, 2.- Formulación de objetivos y resultados esperados, 4.- Determinación del alcance y metodología y 7.- Recopilación de la información relevante. Para mayor referencia, se sugiere consultar el reporte del proyecto en la siguiente liga: <http://189.240.101.244:8080/xmlui/handle/publicaciones/353>.

Asimismo, ambas localidades se encuentran en una de las regiones con mayor cobertura de manglar del país. Yucatán, por ejemplo, es el segundo estado con mayor extensión de manglar (93,171 ha), siendo Celestún el segundo municipio en superficie, casi con una tercera parte de la cobertura. Por su parte, Veracruz ocupa el cuarto lugar nacional en extensión de manglar (38,311 ha). Además, ambas regiones han albergado iniciativas de conservación por parte de diferentes entidades de gobierno, incluyendo proyectos coordinados por el INECC enfocados al fortalecimiento de estrategias AbE a través de la conservación y restauración de

manglares con componentes socioeconómicos a nivel local para fortalecer la resiliencia de las comunidades y de la infraestructura costera.

Identificación de medidas AbE con potencial de ser implementadas en los sitios

La toma de decisiones sobre las medidas que podrían implementarse en un sitio específico requiere de varios elementos, comenzando con el establecimiento del contexto de las áreas de intervención. En este proyecto se inició buscando la mayor cantidad de información disponible para entender las problemáticas climáticas, así como los procesos sociales, económicos, culturales y naturales en el territorio, idealmente a partir de la experiencia de esfuerzos previos, para integrar una base de conocimiento a partir de evidencia.

Para ello, se realizó una compilación de implementación de medidas en ecosistemas de manglar, particularmente, restauración, rehabilitación, reforestación, conservación y manejo sustentable.

Se compiló un total de 112 iniciativas, proyectos, documentos de difusión, síntesis, ordenamientos y planeación que cumplen con los criterios de aplicabilidad geográfica y climática. A partir de ese universo de experiencias, se tomaron 44 proyectos concluidos en los últimos 20 años para realizar un primer análisis y mapeo para extraer información sobre las amenazas y problemáticas climáticas en manglares del GM.

Los proyectos fueron clasificados en dos categorías (Figura 1):

- o 22 proyectos de restauración académica (RA) y de manejo de manglares, que no representan una respuesta consciente a un estímulo climático, sino que surgen debido a cambios ecológicos en sistemas naturales, incluyendo las condiciones de bienestar de los sistemas humanos (adaptación autónoma; INECC, 2020a), en su mayoría, de Veracruz y Yucatán.
- o 22 proyectos de AbE, que desde su planteamiento y objetivos están orientados a la vulnerabilidad climática de infraestructura estratégica, ecosistemas y socio-ecosistemas y el aumento de la resiliencia de éstos, en su mayoría de Tabasco y Campeche.

La mayoría de los proyectos RA integraron criterios de diseño de medidas de adaptación y aportan a la disminución de la vulnerabilidad e incremento de la resiliencia de ecosistemas y comunidades vinculadas, sin embargo, al no estar orientados a la adaptación, frecuentemente no incorporaron líneas base y/o monitoreo y evaluación de indicadores diferentes a los ecológicos. La principal acción reportada fue la restauración hidrológica, frecuentemente acompañada con la construcción de terrazas (modificación topográfica) y la reforestación.

Por su parte, los proyectos AbE principalmente implementaron actividades relativas a medios de vida sustentables,¹⁷ así como la restauración y evaluación de

17. Algunos ejemplos son apicultura, producción de madera en UMA, acuicultura de especies nativas y ecoturismo.

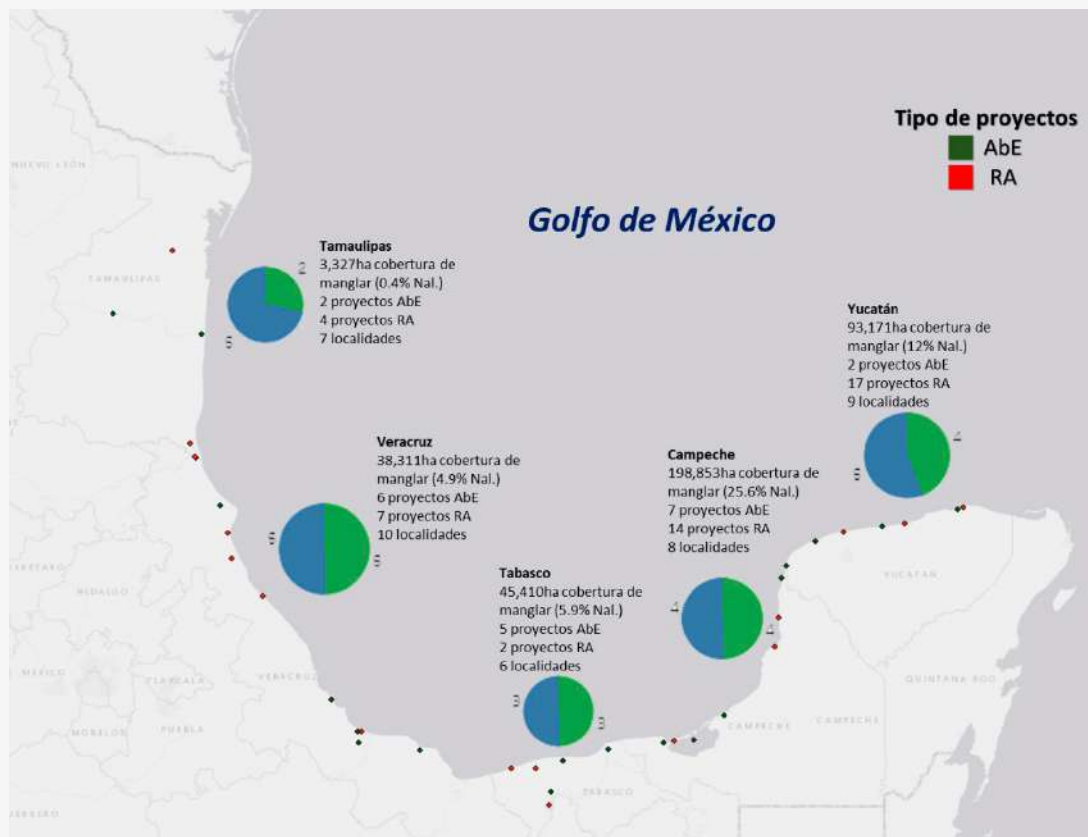
reservorios de carbono. Por lo general, estos proyectos contaron con un objetivo más específico, sin embargo, carecen de información ambiental suficiente y estaban orientados a una actividad productiva o construcción y, en general, estos proyectos contaban con menos información en sus reportes, lo que dificultó el análisis.

En este análisis se identificaron las principales amenazas climáticas en Tuxpan y Celestún, como son ciclones tropicales, frentes fríos, lluvias intensas, sequías y ondas de calor; siendo los principales impactos, inundaciones, erosión e incendios. Para confirmar esto y con base en la “Caja de herramientas para evaluar el proceso de adaptación” (INECC, 2019b), se desarrolló un instrumento de consulta para conocer la percepción

del riesgo en la población local. Sin embargo, debido a la situación de distanciamiento social por COVID-19, no fue posible implementar las encuestas con el alcance deseable. Pese a ello, se llevó a cabo un pilotaje a personas de distintas comunidades de Tuxpan y, para el sitio de Celestún, se hizo la consulta a expertos en proyectos de restauración de manglares en la RBRC. Entre los resultados de este ejercicio se destaca que las personas encuestadas en Tuxpan son conscientes de la relación entre el cambio climático y los impactos a nivel local, particularmente en lo relativo a sequías y ciclones tropicales. Por otro lado, en Celestún, los expertos manifestaron que solo las personas que han participado en proyectos de restauración ambiental tienen nociones del cambio climático y sus efectos.

Cuadro 23. Figura A.

Distribución de las localidades donde se implementarán medidas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE) y Restauración Académica (RA) en ecosistemas de manglar en la región del Golfo de México.



Matriz de medidas AbE a partir de experiencias de implementación en ecosistemas de manglar en el Golfo de México

Se hizo una revisión ampliada de acciones implementadas en manglares, esta vez incluyendo las 112 iniciativas compiladas originalmente. El objetivo fue integrar una matriz de medidas AbE suficientemente documentadas, geográfica y ecológicamente aplicables a los manglares de los sitios de interés y que estén claramente contextualizados con los compromisos de la NDC nacional.

Las acciones de los proyectos fueron revisadas para identificar aquellas que, de manera explícita, han sido formuladas como respuesta ante las amenazas identificadas en el análisis anterior, al tiempo que califiquen como medidas AbE, es decir, acciones que cumplen con un criterio climático, atendiendo condiciones y problemáticas actuales y/o proyectadas relacionadas con cambio climático, variabilidad y eventos climáticos extremos, para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones humanas, los sistemas productivos y la infraestructura estratégica, favoreciendo la resiliencia de los ecosistemas.

De este primer filtro, se seleccionaron 274 medidas de 41 proyectos desarrollados desde los ámbitos federal, regional y, la mayoría, desde lo estatal y local. Estas medidas fueron revisadas a mayor profundidad para determinar el cumplimiento de tres conjuntos de criterios:

- o Cumple con o son parte del proceso de la adaptación.

- o Cumple con el marco conceptual de una medida AbE.
- o Cumple con los criterios mínimos para el diseño de medidas de adaptación.

Con ello, se buscó identificar las medidas que parten de una evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático para desarrollar acciones, monitoreadas y evaluadas, que fortalecen la resiliencia y capacidades de las personas ante las amenazas específicamente identificadas en Tuxpan y Celestún.

Como punto de partida se incorporó un filtrado usando el marco conceptual del proceso de la adaptación (PA) y sus 4 fases (SEMARNAT-INECC, 2018 y 2015). Posteriormente, se generó otro filtro con el marco conceptual de una medida AbE propuesto en la 6ª comunicación nacional ante la CMNUCC (SEMARNAT-INECC, 2018, página 443) y para identificar su cumplimiento, se buscó la concordancia con las pautas del “Marco para definir criterios de cualificación y estándares de calidad para la AbE” propuestos por FEBA (2017). Finalmente, se generó un tercer filtro incorporando el marco conceptual para el diseño de medidas de adaptación a través de los criterios mínimos que deben cubrirse, incorporando doce criterios adicionales (INECC, 2020a). Los tres conjuntos de criterios pueden revisarse en la Tabla A.

Tabla A.

Criterios de filtrado de proyectos de implementación de medidas en ecosistemas de manglar usados para la identificación de aquellos que cumplen de manera específica con la adaptación basada en ecosistemas.

Proceso de la adaptación (SEMARNAT-INECC, 2018)	Estándares de calidad para AbE (FEBA, 2017)	Criterios mínimos para el diseño de medidas AbE (INECC, 2020a)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura. 2. Diseño de la medida de adaptación respondiendo a las necesidades identificadas en el punto anterior. 3. Implementación de la medida promoviendo el empoderamiento de actores clave. 4. Monitoreo y Evaluación. 	<ul style="list-style-type: none"> o Ayudar a las personas a adaptarse al cambio climático. o Usar activamente y de manera sostenible, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. o Estar en el contexto de una estrategia de adaptación general. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atiende condiciones climáticas. 2. Cuenta con un enfoque sistémico. 3. Permite una gestión integrada. 4. Es técnica, económica y socialmente viable. 5. Puede medirse. 6. Fortalece capacidades. 7. Considera el contexto social. 8. Fortalece la gobernanza, con enfoque de género. 9. Está alineado con políticas públicas. 10. Se sostiene en el tiempo. 11. Propicia co-beneficios sociales. 12. Tiene la capacidad de ser flexible y reversible.

Evidentemente, varios aspectos de los citados marcos conceptuales y sus criterios se traslapan, lo que implica duplicidades al momento de su aplicación. Para hacer más eficiente el proceso de filtrado de las 274 medidas,

los criterios arriba mencionados fueron integrados en una serie de enunciados incluyentes y jerarquizados (Tabla B).

Tabla B.

Integración de criterios para la identificación de medidas congruentes con el marco conceptual de AbE de entre 274 acciones implementadas como respuestas a ciclones tropicales, frentes fríos, lluvias intensas, sequías y olas de calos. PA – Proceso de adaptación, AbE – Marco conceptual de FEBA, Cm#–Criterio mínimo para el diseño de medidas de adaptación.

Criterio	Tipo
Aborda explícitamente el tema de variabilidad y cambio climáticos.	PA, AbE, Cm0, Cm1, Cm6
Atiende alguna necesidad derivada de un problema relacionado con el clima	PA, AbE, Cm0, Cm4
Promueve el uso de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos para atender las necesidades de las personas	AbE, Cm2
Incrementa la resiliencia de las personas frente al cambio climático	PA, AbE, Cm0, Cm5
Restaura, mantiene o mejora la salud ecosistémica por acción directa o a través de la gestión o políticas públicas.	AbE
Considera o reporta un enfoque en la comunidad: participación, perspectiva de género y/o promueve la equidad.	PA, AbE, Cm7, Cm10, Cm11

Los criterios mínimos (Cm) 3, 8, 9 y 12 no fueron incluidos en esta etapa del filtrado ya que requieren información más específica de los proyectos y fueron aplicados más adelante sobre un conjunto más pequeño de proyectos.

Con el diseño descrito hasta aquí, se integró una matriz donde las medidas fueron contrastadas con los criterios arriba descritos y se seleccionaron aquellas que cumplen con las características de una medida AbE. El proceso resultó con la selección de 18 medidas que posteriormente fueron categorizadas usando la “Tipología de medidas de adaptación al cambio climático” (INECC, 2020b), agrupándose en tres categorías de acciones que:

- o promueven la valoración de los servicios ecosistémicos,

- o vinculan los servicios ecosistémicos con los sectores productivos,
- o se enfocan en el manejo del riesgo.

Las medidas identificadas aportan al cumplimiento de la NDC nacional (GM, SEMARNAT, 2022 y 2020) principalmente en el componente de adaptación a los ejes:

- o A. Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio.
- o C. Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.
- o D. Gestión integrada de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático.

Finalmente, esta selección de medidas fue contrastada con los criterios mínimos: 3 - viabilidad, 8 - alineación con políticas públicas, 9 – Sostenibilidad y 12 – Capacidad de ser flexible y reversible.

El criterio 12 resultó complicado de evaluar ya que requiere contacto directo con los implementadores, por lo que se consideró “deseable” pero no fue incorporado al análisis. Los otros tres criterios si pudieron ser aplicados, resultando en la selección de cinco medidas que cumplen con el marco metodológico propuesto en este estudio y que son susceptibles de ser replicadas en los manglares de Tuxpan y Celestún para favorecer la resiliencia de las comunidades locales y los ecosistemas en el largo plazo. Dichas medidas son:

- o Restauración comunitaria de manglar para el aprovechamiento sustentable de los servicios provistos (ecoturismo y carbono azul).
- o Apicultura en manglar.
- o Construcción de palafitos con ecotecias demostrativas.

- o Instalación de sistemas de captación y potabilización de agua de lluvia.
- o Brigadas permanentes para la prevención, control y combate de incendios forestales y contingencias ambientales.

Estas cinco medidas se pueden agrupar en las tipologías de vinculación con sectores productivos y manejo de riesgo y han sido implementadas con éxito en localidades del Golfo de México y el Caribe mexicano. Entre los principales aspectos que han contribuido a la sostenibilidad y logros de estos proyectos está la participación de las comunidades a partir de la comprensión de los beneficios y la importancia de dichas acciones, y que responden a las necesidades particulares de cada sitio. Asimismo, están alineadas con las políticas públicas, incluso siendo parte de programas nacionales, como es el caso de las brigadas contra incendios, y por supuesto la aportación directa e indirecta a los medios de vida locales.

Cuadro 24.

Contribución: “Incorporando la adaptación al CC en la infraestructura pesquera en Perú”.

CONTRIBUCIÓN:

“Incorporando la adaptación al CC en la infraestructura pesquera en Perú”.

Rogger Morales Hermosa.

Giancarlo Ríos Cruz.

Breve resumen

El PRODUCE¹⁸ y el MINAM,¹⁹ durante los años 2018-2019, realizaron una evaluación preliminar del costo – beneficio de la medida de adaptación “implementación de protección física en los DPA”,²⁰ tomándose como referencia el DPA de Cabo Blanco, situado en el distrito El Alto, departamento de Tumbes.

Al respecto, los DPA vienen siendo impactados por peligros asociados al clima en la zona costera, por lo que el objetivo de esta medida es reducir las pérdidas sociales y económicas que afectarían a los pescadores/as artesanales ante los peligros asociados al clima, como el incremento de lluvias, las inundaciones, el incremento del nivel del mar y los oleajes anómalos, principalmente, los cuales vienen ocasionando daños en la infraestructura pesquera, inhabilitación de los servicios que brinda y alteraciones en los sistemas de drenaje.

Entre las acciones a ejecutarse se planteó: (i) construcción de un terraplén y enrocado de protección (ver figura N° 01), que evitará inundaciones ocasionadas por la bravura o incremento del nivel del mar, y (ii) construcción de pilotes resilientes de concreto (ver figura N° 02), los cuales serán más resistentes ante la braveza del mar, reduciendo la exposición de los pescadores artesanales. En este marco, el costo de implementación de la medida, considerando una tasa de descuento de 7.5% y un horizonte de evaluación de 10 años, es estimado en S/.1,791,950.

Nombre de los autores contribuyentes

Figura N° 01



Fuente: Produce (2018)

Figura N° 02



Fuente: Produce (2018)

18. Ministerio de la Producción
 19. Ministerio del Ambiente
 20. Desembarcaderos Pesqueros Artesanales

Por su parte, estableciendo un escenario donde los eventos extremos climáticos se presentan en los años 5 y 10 de evaluación y se cuenta con una efectividad del 100% de las medidas de adaptación, el Valor Actual Neto es de S/. 1,952,688. Estos resultados se derivan de la existencia de costos evitados, que ascienden a S/. 4,508,983; los mismos que son: (i) rehabilitación de la DAP, (ii) pérdida de ingresos de los pescadores artesanales, y (iii) pérdida de ingresos de los acopiadores de la zona. Los resultados de diferentes escenarios se presentan en la siguiente tabla:

Cuadro referencial: Estimación de indicadores de rentabilidad del análisis Costo - Beneficio

Indicador / Escenario	Evento en los años 5 y 10 (100% de efectividad de las medidas)	Evento en los años 5 y 10 (80% de efectividad de las medidas)	Evento en los años 5 y 10 (60% de efectividad de las medidas)
Valor actual costos (S/.)	2,556,295	2,556,295	2,556,295
Valor actual de los costos evitados = beneficios (S/.)	4,508,983	3,607,186	149,095
Valor actual neto (VAN)	1,952,688	1,050,892	149,095

Entre los beneficios tras la implementación de esta medida de adaptación se tendría:

- Los costos evitados de rehabilitación y/o construcción del DPA, ocasionada por un peligro asociado al clima.
- Las ganancias de los pescadores/as que venden su desembarque tras la implementación de la medida de adaptación.
- Las ganancias del DPA por el cobro de las tarifas tras la implementación de la medida de adaptación.
- Los costos de operación y mantenimiento de la medida de adaptación.
- La pérdida de ganancias del DPA debido a su no operatividad durante la implementación de la MACC.

Este estudio referencial ha servido de insumo para el desarrollo del “Análisis de exposición ante peligros climáticos en los DPA a nivel nacional” (ejecutado), y “Lineamientos metodológicos para la incorporación de la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático en las inversiones de los DPA, en el marco del Invierte.pe”²¹ (en proceso de desarrollo), de tal forma que puedan apoyar a los tomadores de decisión y/o formuladores de proyectos en infraestructura pesquera, para que los DPA brinden el servicio de manera continua, con estándares a lo largo de su vida útil y sean resilientes al clima.

Nombre de los autores contribuyentes

1. Rogger Morales, Especialista en Gestión del Riesgo Climático de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del Ministerio del Ambiente
rmoralesh@minam.gob.pe
2. Giancarlo Ríos, Especialista de la Dirección General de Asuntos Ambientales Pesqueros y Acuícolas del Ministerio de la Producción
grios@produce.gob.pe

Cuadro 25.

Contribución: “Evaluación del impacto de CC en las zonas costero marinas de República Dominicana y propuestas de medidas de adaptación”.

CONTRIBUCIÓN:

“Evaluación del impacto del CC en las zonas costero marinas de República Dominicana y propuestas de medidas de adaptación”.

Carol Franco y Laura Rathe.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana.

Resumen:

El objetivo fue evaluar el impacto del cambio climático y aportar medidas de adaptación en las zonas costero-marinas para reducir el riesgo climático,

aplicando el marco conceptual y metodológico basado en el AR5. Las medidas se enfocan en la reducción de los impactos del cambio climático, como el aumento

del nivel del mar, las inundaciones y la erosión costera, causados por las tormentas y huracanes. Se llevó a cabo un estudio de riesgos climáticos teniendo en cuenta las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad (la sensibilidad y capacidad adaptativa) basándose en 32 indicadores biofísicos y socioeconómicos, de todos los municipios costeros del país. Se identificaron y priorizaron las medidas más relevantes a través de un enfoque participativo de co-construcción con las diferentes partes interesadas, mediante un análisis multi-criterio.

Contexto

El objetivo general de esta iniciativa fue evaluar el riesgo, la vulnerabilidad e impactos potenciales del cambio climático en los sistemas costero-marinos de la República Dominicana, priorizar zonas y formular medidas de adaptación, para apoyar la estrategia y las inversiones del Estado dominicano para el sector turístico costero en los próximos años. Se desarrolló dentro del proyecto “Vulnerabilidad de las zonas costeras de la República Dominicana” en el marco del programa

Los enfoques de las medidas se revisaron para evitar la “mala adaptación”, promoviendo la adaptación basada en ecosistemas (AbE), soluciones basadas en naturaleza (SbN) y el empoderamiento de los gobiernos locales, la sociedad civil y el sector privado. Se incluyeron medidas suaves o blandas, como capacitación, y duras como la infraestructura y manejo de recursos naturales para formular dos planes de adaptación en dos municipios de mayor riesgo climático.

“Adapt’Action” de la AFD, y con las contrapartes institucionales del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, el Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), el Ministerio de Turismo (MITUR), y el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD). La implementación estuvo a cargo de la Fundación Plenitud, DAI SRL e IRMA apoyó en la primera etapa del análisis de riesgo.

El marco metodológico y conceptual para la evaluación del riesgo climático en las zonas costero-marinas

Se utilizó el marco conceptual del Quinto informe del IPCC (AR5) para analizar el riesgo costero, identificando los niveles de riesgo (amenaza, exposición, vulnerabilidad) de las zonas costeras a nivel nacional, ante los impactos del cambio climático. Incluyendo los impactos socioeconómicos y considerando un enfoque de equidad de género. El riesgo se deriva de la interacción de la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa), la exposición de las personas o ecosistemas, así como el peligro o amenaza relacionado con el clima.

Se realizaron tres investigaciones específicas antes de la evaluación del riesgo: (1) una caracterización de las zonas costero-marinas de la RD a partir de la compilación de datos existentes, (2) un análisis de las tendencias y proyecciones del cambio climático para la RD, y (3) una estimación de impactos ambientales y socioeconómicos del cambio climático potencial futuro en la RD.

Para realizar la caracterización de las zonas costero-marinas dominicanas, se construyó un

repositorio centralizado de datos de las zonas costeras del país a escala municipal, permitiendo un análisis más detallado. La recopilación de información tuvo como prioridad los datos existentes sobre los componentes biofísicos, climáticos y socioeconómicos.

Para estimar los impactos socioeconómicos históricos, se llevó a cabo una actualización y análisis de los datos de pérdidas y daños socioeconómicos de las amenazas relacionadas a la variabilidad climática observada, elaborando la base de datos actualizada sobre eventos climáticos e hidrometeorológicos cuya incidencia en la costa ha sido reportada en asociación con pérdidas y daños en la población, la infraestructura, las actividades productivas y los ecosistemas localizados en la costa (DesInventar 1966-2000 actualizada al 2019) con un total de más 1250 campos de datos adicionales introducidos para los municipios costeros.

Tomando de base toda la información anterior y mediante una herramienta metodológica basada en ecosistemas (GIZ, EURAC & UNU-EHS, 2018)²² que ayuda a comprender mejor, sistematizar y priorizar los factores que conducen el riesgo en un sistema, se realizó la evaluación de riesgos climáticos y para la cual se consultó una amplia cantidad de partes interesadas, expertos y tomadores de decisiones sobre la priorización de riesgos climáticos para RD.

Esta herramienta utiliza el concepto de riesgo del IPCC AR5 en el contexto de los sistemas socio ecológicos (SSE) y presta atención especial a la dependencia de las personas de los servicios de ecosistemas y posibilita la integración de los eventos extremos y proyectados, en el

contexto de la reducción de riesgos y de la adaptación. Se consideran los factores de riesgo biofísicos y de origen humano y ayuda a identificar y aplicar estrategias de adaptación que aprovechan los múltiples beneficios que brindan los ecosistemas.

A través de un proceso participativo se identificaron las cadenas de impacto en talleres de trabajo, entrevistas y encuestas. Se procedió a la identificación de impactos climáticos, determinar peligros e impactos intermedios, los principales factores de la vulnerabilidad del sistema costero-marino que contribuyen a la sensibilidad y a la capacidad adaptativa del sistema y la determinación de elementos expuestos del sistema costero-marino. Las cadenas de impacto que se priorizaron fueron:

- Riesgo de daño o pérdida de vida y medios de vida debido a huracán/tormenta
- Riesgo de daño o pérdida de medios de vida y ecosistemas debido a la erosión
- Riesgo de daño o pérdida a infraestructuras debido al aumento del nivel del mar

Para cada cadena y para cada uno de los elementos del riesgo, se escogieron los indicadores existentes a nivel de municipios costeros, para poder medir las amenazas, exposición y vulnerabilidad al cambio climático²³ de acuerdo con el contexto, su relevancia, específicos, mensurables y temporales (SMART) y se realizó la normalización, ponderación y agregación de los indicadores, presentándose en un sistema de información geográfica GIS. Se requirieron datos

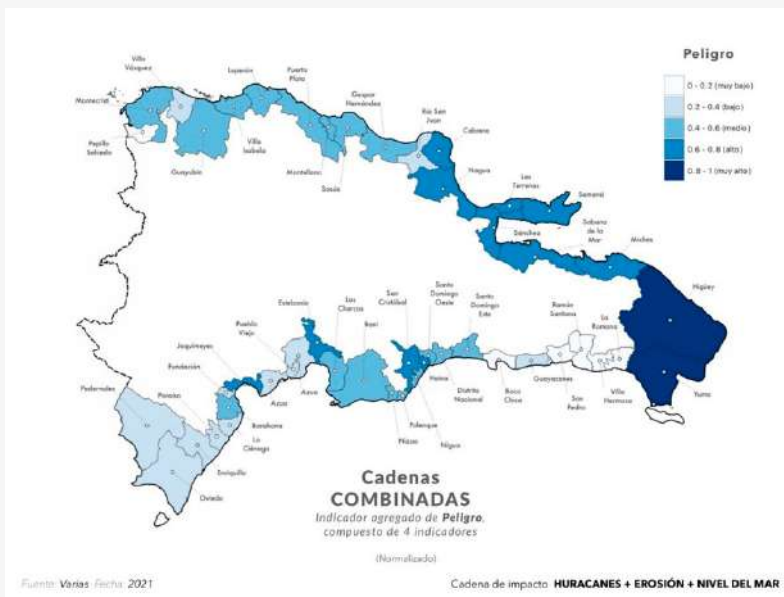
22. GIZ, EURAC & UNU-EHS (2018): Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas –Una guía para planificadores y practicantes, Bonn: GIZ

23. GIZ/ IISD (2014) Repositorio de Indicadores de Adaptación. Casos reales de sistemas de Monitoreo y Evaluación nacionales

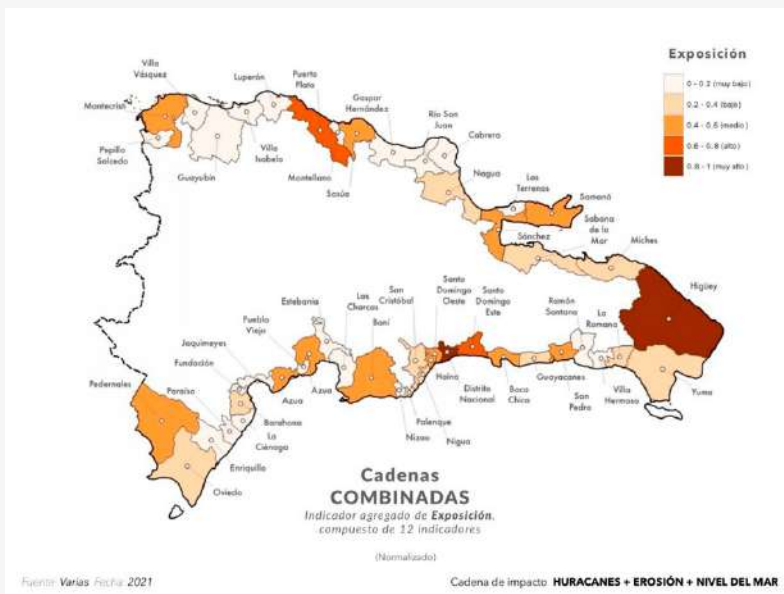
geográficos, climáticos, socioeconómicos, biofísicos y se recopilaron en una amplia base de datos. Se elaboró un atlas de mapas individuales y agregados. El estudio incluye 31 indicadores y abarca 47

municipios costeros. Para calcular el valor de un dado indicador en un municipio, se realizaron varios procesos geoestadísticos cruzando la información de referencia con el perímetro del municipio.

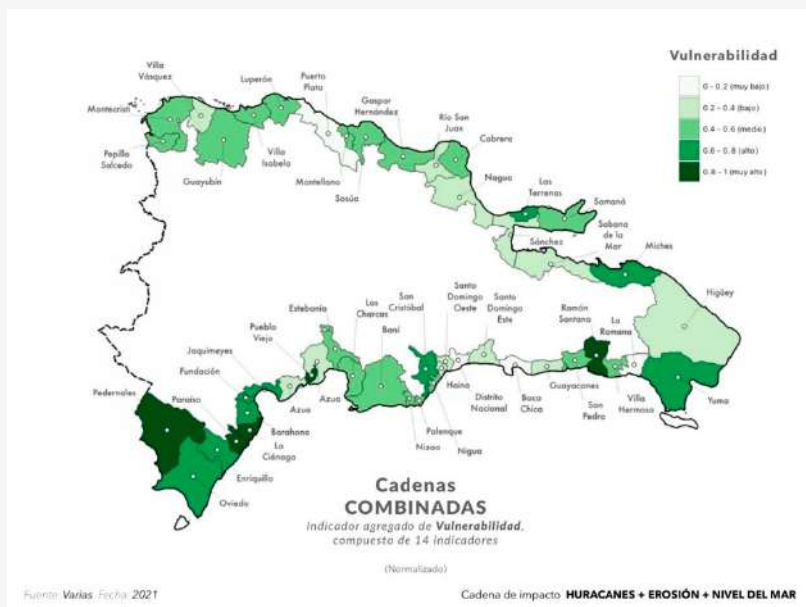
Resultados del Índice de amenazas, exposición y vulnerabilidad agregados y el Índice de riesgo agregado, a nivel de municipios costeros del la Republica Dominicana



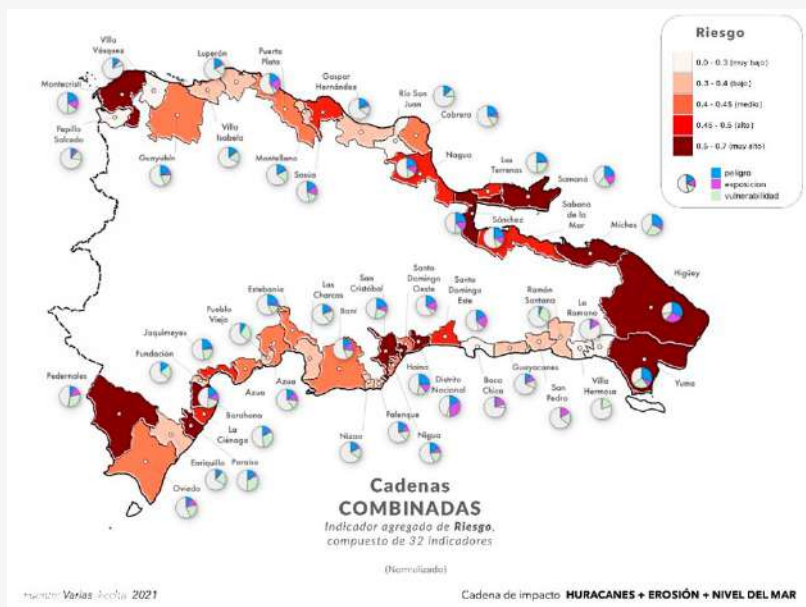
Las amenazas o peligros agregados, huracanes, erosión costera y la subida del nivel del mar combinados, las zonas que se enfrentan a estos peligros con mayor regularidad están repartidas por todo el país, pero sobre todo en el extremo oriental, con especial atención a **Higüey, Yuma**, seguidas de **Miches, Sabana de la Mar, Sánchez, Samaná, Las Terrenas, Nagua y Cabrera** en el este; y en el sur **Haina, Estebanía y Jaquimeyes**.



La **exposición** se define por la población y las infraestructuras presentes en la proximidad física de las amenazas, el mapa de exposición muestra las zonas con mayor densidad de población y desarrollo (infraestructuras y hoteles). La exposición agregada nos señala sobre todo **Distrito Nacional, Santo Domingo Este, Higüey, Samaná y Puerto Plata**.



La vulnerabilidad costera climática en la República Dominicana contrasta fuertemente con los mapas de amenazas y exposición anteriores. Los municipios con mayor vulnerabilidad se encuentran en el sur del país, por ejemplo, **Pedernales, Paraiso, La Ciénaga, Pueblo Viejo, Ramón Santana y Yuma, hacia el este el caso de Miches**. Estos lugares tienen los ingresos más bajos, el menor acceso a los recursos y menos estrategias de afrontamiento, como el Índice de Calidad de Vida (ICV) muy bajo y bajo. En otros casos, medios de vida más vulnerables como los ingresos económicos procedentes de la pesca o agricultura de subsistencia también obtuvieron una alta puntuación en su perfil de vulnerabilidad.



El riesgo agregado, combinando las tres dinámicas anteriores, muy diferentes entre sí (amenaza, exposición y vulnerabilidad), los municipios de mayor riesgo son **Pedernales, Paraiso, Santo Domingo, San Cristobal y Haina en el sur; y hacia el este-noreste Yuma, Higüey, Miches, Sanchez y Samaná**. Al noroeste, **Monte Cristi y Villa Vazquez**. Esto sugiere que estos municipios deberían ser el foco principal para iniciar con las opciones de adaptación al cambio climático, hasta que haya recursos disponibles para escalar en un mayor número de zonas costeras.

Priorización de ejes temáticos y áreas geográficas para la elaboración de Planes de Acción de Adaptación

Se revisan las políticas de desarrollo, de cambio climático y las que son relevantes para la zona costera y desarrollo turístico costero. Se compilan y analizan los programas y proyectos implementados en el país relacionados con cambio climático en los últimos 15 años, un análisis de los marcos institucionales y legales relacionados con el cambio climático y se realiza un análisis

de los ejes temáticos. Se seleccionan las zonas geográficas y los ejes temáticos prioritarios. Durante un proceso de consulta y priorización con las instituciones clave, se escogieron los Municipios de Pedernales y Miches para la elaboración de los planes de adaptación con sus planes de Monitoreo y Evaluación y planes de inversión asociados.

Selección de medidas de adaptación priorizando soluciones basadas en la naturaleza (SbN).



Se analizaron e identificaron cada una de las medidas de adaptación de acuerdo con el contexto local y se priorizaron mediante un análisis multicriterio basado en las informaciones y documentos clave, priorizando soluciones de adaptación basadas en la naturaleza (SbN).

Las medidas de adaptación se enmarcan en los siguientes componentes:

Estudios e investigaciones, 2- Comunicación y fortalecimiento de capacidades, 3- Instrumentos de planificación y ordenamiento, 4-Infraestructura resiliente al clima y 5- Manejo de recursos naturales

Los indicadores se elaboraron con base en la información preexistente, como el Sistema Dominicano de

Indicadores de Turismo Sostenible (2019), El Sistema de monitoreo y cumplimiento para la conservación de la biodiversidad costera y marina (2017), el Repositorio de Indicadores de Adaptación (2014), y el documento también elaborado por la GIZ “Monitoreo y Evaluación de la adaptación al cambio climático” (2019). Para los indicadores, se revisaron las bases de datos y fuentes del Ministerio de Medioambiente, de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), de la Oficina Nacional de Meteorología, National

Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), base de datos de TNC, del Sistema Único de Beneficiarios (SIUBEN), del Servicio Geológico Nacional, del Ministerio de Turismo, Censo Nacional Pesquero ONE/CODOPESCA 2019, Comisión Nacional de Energía, SISMAP Municipal-Ministerio de Administración, estadísticas del Banco Central y del Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPYD), entre otras.

Elaboración de los Planes de acción de adaptación, plan de M&E y plan de inversión asociado

Los municipios priorizados de Pedernales y Miches se encuentran entre los municipios con mayor riesgo agregado y futuro al cambio climático y tienen amplios planes aprobados de expansión

turística futura. Se elaboraron para cada municipio su Plan de acción de adaptación, plan de M&E y plan de inversión asociado.

Impulsar un desarrollo ambientalmente sostenible y climáticamente resiliente

Los municipios de Miches y Pedernales, mediante un desarrollo ambientalmente sostenible y climáticamente resiliente, pueden ilustrar como tomar las decisiones prioritarias para el aprovechamiento de los recursos turísticos considerando los factores de riesgo inherentes a

sus cualidades geográficas, hidrológicas y climáticas, es posible, en contraposición a otros focos de desarrollo en los que se ha llegado ya muy tarde. La planificación anticipada proveerá un marco de acción para enfrentar los riesgos climáticos de manera preventiva y no reactiva.

Resultados principales y buenas prácticas:

Se entrega un estudio de riesgo climático para los 48 municipios de las zonas costero-marinas del país.

Una caracterización de las zonas costero-marinas, análisis de las tendencias y proyecciones del cambio climático, incluyendo la elevación del nivel del mar (SLR) para la RD, y una estimación

de impactos ambientales y socioeconómicos potenciales del cambio climático.

Sistematizada una amplia base de datos con información georreferenciada de indicadores biofísicos y socioeconómicos sobre las zonas costero-marinas del país.

Se deja actualizada una base de datos sobre desastres (pérdidas y daños, DesInventar) 2000-2019 con un total de más 1250 campos de datos adicionales introducidos para los municipios costeros

Se presentan dos planes de acción de adaptación al cambio climático para los municipios de alto

riesgo climático priorizados, con un sistema de M&E, sensible a género, un análisis cualitativo costo-beneficio y el plan de inversión asociado.

Apostamos a la adaptación anticipada, antes que se produzcan los impactos para reducir la vulnerabilidad, priorizando soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y en estrategias que permitan fomentar la resiliencia climática de estos municipios, como el turismo sostenible.

Se presentan recomendaciones relevantes para el contexto dominicano basadas en las lecciones aprendidas del análisis crítico de las buenas prácticas de adaptación con propuestas concretas y accionables.

Cuadro 26.

Contribución: “Generando capacidades para la planificación y la adaptación al CC en la zona costera de Uruguay”.

CONTRIBUCIÓN:

“Generando capacidades para la planificación y la adaptación al CC en la zona costera de Uruguay”

Sebastián Solari

Rodrigo Alonso Hauser

La zona costera uruguaya consolidó a lo largo de su historia un protagonismo sustancial en el desarrollo nacional. Actualmente los gobiernos subnacionales costeros (Colonia, San José, Montevideo, Canelones, Maldonado, Rocha) concentran el 70% del total de la

población, el 71% de los hogares particulares y algo más del 72% de las viviendas del Uruguay. La mayoría de las localidades identificadas en las áreas costeras (59%) presentan mayoritariamente un uso turístico.

El abordaje de la problemática climática en Uruguay se ha caracterizado por la implementación de un enfoque multidisciplinario de políticas públicas. Desde la aprobación de la Política Nacional de Cambio Climático en 2016, el país ha ido priorizando la acción climática, anticipándose a medidas de corto, mediano y largo plazo, con el propósito de orientar las acciones de mitigación y adaptación (Contribución Determinada a Nivel Nacional, CDNNI 2017). En este contexto, se elaboró el Plan Nacional de la Zona Costera (PNA COSTAS 2021) proponiendo soluciones integradas en el marco de las diferentes medidas de adaptación que fueron identificadas a partir de un proceso consultivo centrado en 35 talleres con 16 instituciones pertenecientes al gobierno nacional, las intendencias costeras y las alcaldías con competencia en la zona costera (Fig. 1). A partir de este proceso de co-creación de conocimiento para la implementación de intervenciones locales, se estableció una agenda de actividades centrada en acciones de corto, mediano y largo plazo con cada intendencia (Fig. 2). El PNA COSTAS se planteó como objetivo efectuar estudios de evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo que permitieron analizar las consecuencias y los costos de la inacción frente a la implementación de medidas de adaptación ante distintos escenarios de cambio climático.

Para la cuantificación de los impactos a escala local requirió disponer de bases de datos históricas elaboradas por centros de investigación nacionales (Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias de la Universidad de la República) y de proyecciones de las dinámicas (peligrosidad) de alta resolución aplicando metodologías y estrategias desarrolladas por centros de investigación internacional (Instituto de Hidráulica de la Universidad de Cantabria). Para esto se elaboró un reanálisis (datos simulados) con

datos de vientos y presión generando un modelo atmosférico regional.

La transferencia tecnológica efectuada tanto entre los centros de investigación como también a los técnicos y gestores de los gobiernos subnacionales permitieron caracterizar los riesgos climáticos futuros habilitando la identificación de posibles déficits de adaptación y facultando la selección de acciones inmediatas.

Se destaca que los efectos más importantes que el cambio climático y la variabilidad pueden ocasionar en las playas uruguayas son la variación en la cota de inundación y en el retroceso / avance de la línea de costa. Para un horizonte de tiempo al 2050 y bajo un escenario pesimista (RCP85) la totalidad de las playas uruguayas experimentarán retrocesos de su línea de costa en valores ≤ 5 m, en cambio para fines de siglo y para un valor medio de aumento del NMM se observan una gran diferenciación en los diferentes tramos de la costa con valores que oscilan entre los 5 y los 20 m, sobre todo en playas con arenas más finas y con mayores profundidades de corte.

Ante las barreras institucionales y sociales el PNA COSTAS centró su estrategia en desarrollar seis propuestas piloto para la implementación de medidas de adaptación a nivel de cada gobierno subnacional. Cada gobierno departamental definió el área de acción considerada como vulnerable a partir de la evaluación del riesgo costero, estableció un grupo de trabajo a nivel local, revisó y sistematizó la información existente y diseñó una estrategia para implementar de medidas de adaptación que combinen soluciones basadas en ecosistemas y obras relacionadas con los activos públicos y privados aplicando un enfoque centrado en la gestión interdisciplinaria e interinstitucional (Fig.2).

En Uruguay, la vulnerabilidad de las costas puede disminuir el ritmo de desarrollo económico y en varios de los sitios piloto seleccionados el país no podrá acometer las inversiones de adaptación necesarias sin ayuda financiera exterior. En este sentido, para la valoración de los niveles de riesgo costero mencionados anteriormente; la formulación de anteproyectos y de proyectos ejecutivos; e incluso para la implementación de las medidas de adaptación; Uruguay ha establecido una estrategia de cooperación internacional accediendo a fondos de donación (AECID - Cooperación Española; CTCN - Naciones Unidas; Fondo Verde para el Clima – PNUD; Euroclima+ - Unión Europea; Fondo de Adaptación).

En el 2023, cada sitio piloto contará con la formulación de una línea de base, un estudio de la dinámica de la línea costera ante los diversos forzantes ambientales y climáticos; el diseño y evaluación de medidas que se centrarán en minimizar la erosión, el transporte de los sedimentos y la inundación costera; y un estudio de alternativas de intervención en cada tramo de costa

considerando los escenarios de cambio climático. A su vez, se deberán contemplar diferentes tipos de opciones de adaptación, como las de protección, las de acomodación y/o las de retroceso según lo que se defina en la valoración de la línea de base y en el estudio de la dinámica de la línea de costa. El país busca resguardar las zonas de riesgo (sistema socioeconómico y sistema natural) reduciendo la peligrosidad y en especial la exposición. Las alternativas propuestas deberán ser evaluadas tanto en su aplicación individual como combinada, atendiendo a las capacidades institucionales del país alcanzadas a través del proceso de transferencia tecnológica descrito anteriormente y a los marcos legales existentes y compromisos internacionales asumidos. Al 2030 Uruguay se comprometió a que el 100% de los componentes vulnerables de la zona costera estarán incluidos en planes o programas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático definiendo el nivel de protección y/o aplicando medidas de adaptación basada en ecosistemas, tanto de conservación como de restauración (Contribución Determinada a Nivel Nacional, CDNN2 2022).

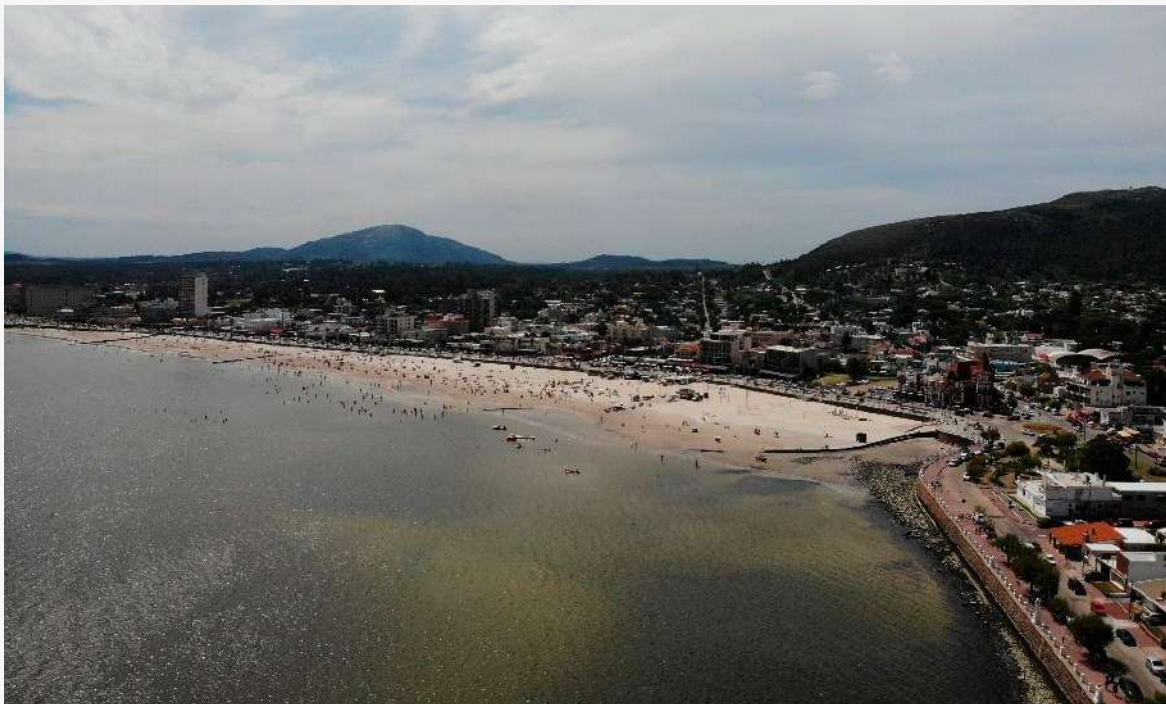
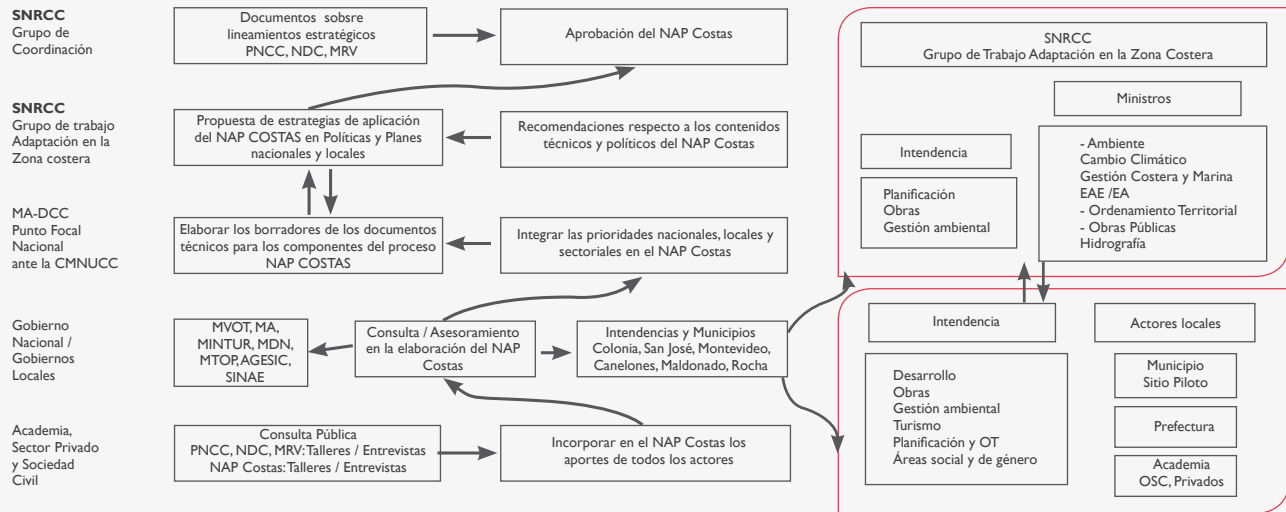
Cuadro 26. Figura A.

Componentes del proceso de adaptación a la variabilidad y al cambio climático en la zona costera de Uruguay.



Cuadro 26. Figura B.

Flujo de incorporación de conocimiento y definiciones en la elaboración del Plan Nacional Costero (NAP Costas) (Uruguay).



BLOQUE 3: ANEXOS

Anexo 1. Referencias

Anexo 2. Glosario

Anexo 3. Fichas para la aplicación de la Guía.

Anexo 4. Cadenas de Impacto

Anexo 5. Bases de Datos climáticos.

Anexo 6. Catálogo de indicadores intercomparables.

Anexo 7. Medidas de Adaptación.

Anexo 8. Clasificación de las medidas de adaptación. Puertos.

Anexo 9. Análisis de situaciones de vulnerabilidad y riesgos con enfoques de género, interculturalidad e intergeneracional en zonas costeras.



Cooperación
Española

CONOCIMIENTO/INTERCOONECTA

