



Evaluación de riesgos e impactos
derivados del cambio climático en
España (ERICC-2025)

ANÁLISIS DE RIESGOS COMPLEJOS
(VERSIÓN NO EDITADA)



Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título:

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica:

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación:

OECC: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

FB: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Edición y maquetación:

Grupo Tangente

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad

Autor/Autores del capítulo:

Autor: Daniel Navarro Cueto

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda, María Ayelén Calvet, Efrén Feliu Torres



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 000-00-0000-000-0

ISBN: 000-00-0000-000-0

AVISO LEGAL: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. et al. 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid

CONTENIDO

1	Introducción.....	4
2	Modelo de riesgos complejos.....	6
3	Análisis de métricas de los riesgos complejos.....	13
3.1	Grado de salida.....	14
3.2	Grado de entrada.....	16
3.3	Cercanía.....	17
3.4	Intermediación.....	19
4	Mapeo de relaciones directas entre riesgos.....	21
4.1	Salud humana.....	21
4.2	Agua y recursos hídricos.....	23
4.3	Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas.....	25
4.4	Forestal, desertificación, caza y pesca continental.....	27
4.5	Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación.....	30
4.6	Costas y medio marino.....	32
4.7	Ciudad, urbanismo y edificación.....	36
4.8	Patrimonio cultural.....	38
4.9	Energía.....	39
4.10	Movilidad y transporte.....	41
4.11	Industria y servicios.....	44
4.12	Turismo.....	46
4.13	Sistema financiero y actividad aseguradora.....	47
4.14	Paz, seguridad y cohesión social.....	50
5	Conclusiones.....	52

1 INTRODUCCIÓN

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

El análisis de riesgos complejos parte de los 51 riesgos clave identificados para los 14 ámbitos sectoriales objeto de este proyecto y busca superar las limitaciones de este primer análisis meramente sectorial mediante el desarrollo de un enfoque más integrado y sistémico. Esta necesidad de integración ha sido ampliamente reconocida tanto en la literatura científica^{1 2 3} como en los marcos internacionales de evaluación del riesgo. En particular, el enfoque propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en sus informes más recientes⁴, subraya la importancia de considerar los riesgos complejos, entendidos como aquellos que emergen de la interacción entre múltiples factores físicos, sociales, económicos y ambientales, y que pueden amplificarse mutuamente a través de mecanismos no lineales.

En línea con esta perspectiva, el estudio adopta una definición operativa de riesgo complejo como aquel que no puede ser comprendido plenamente mediante el análisis de sus componentes individuales, sino que requiere una aproximación sistémica que tenga en cuenta las interacciones, retroalimentaciones y dinámicas emergentes del sistema en su conjunto. Este tipo de riesgos se caracteriza por su alta incertidumbre, su potencial de generar efectos en cascada y su capacidad de atravesar fronteras sectoriales y geográficas. Ejemplos de riesgos complejos incluyen la inseguridad alimentaria por sequías prolongadas, migraciones forzadas por degradación o pérdida de medios de vida, o la inestabilidad financiera derivada de impactos simultáneos en sectores clave.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo analítico basado en teoría de grafos, una herramienta matemática que permite representar y analizar sistemas compuestos por elementos interconectados. En este caso, **cada nodo del grafo representa un riesgo identificado**, mientras **que las aristas —flechas que unen dos nodos— indican relaciones de influencia entre ellos**. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema de riesgos, identificar nodos clave y calcular métricas que ofrecen información sobre la posición y el papel de cada riesgo dentro de la red. Se utilizan distintas métricas para analizar el sistema —como el grado de entrada y salida, la centralidad de cercanía y la centralidad de

¹ Stergiopoulos, G., Kotzanikolaou, P., Theocharidou, M., Gritzalis, D., 2015. Risk mitigation strategies for critical infrastructures based on graph centrality analysis. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 10, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.05.003>

² Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Seneviratne, S., Strongin, S., Aalst, M. van, Totin, E., Trisos, C.H., 2021. A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4, 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>

³ Sillmann, J., Christensen, I., Hochrainer-Stigler, S., Huang-Lachmann, J.-T., Juhola, S., Kornhuber, K., Mahecha, M., Mechler, R., Reichstein, M., Ruane, A., Schweizer, P.-J., Williams, S., 2022. Briefing Note Systemic Risks: Review and Opportunities for Research, Policy and Practice from the Perspective of Climate, Environmental and Disaster Risk Science and Management. <https://doi.org/10.24948/2022.01>

⁴ IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press.

intermediación—, que se explican más adelante. Cada una de ellas aporta una perspectiva distinta sobre la dinámica del sistema.

El desarrollo del modelo se ha llevado a cabo mediante un enfoque participativo, que ha incluido la realización de dos talleres con actores clave de distintos sectores. El primer taller tuvo como objetivo presentar el ejercicio, validar la selección de riesgos y establecer las relaciones entre ellos a partir del conocimiento experto de los participantes. Este proceso permitió construir una base sólida y consensuada para el modelo, incorporando múltiples perspectivas sectoriales. El segundo taller se centró en la socialización de los resultados preliminares, lo que permitió contrastar los hallazgos con la experiencia práctica de los actores involucrados y enriquecer la interpretación de los datos. Esta metodología participativa ha sido fundamental para garantizar la relevancia y aplicabilidad de los resultados, así como para fomentar el diálogo intersectorial y la construcción colectiva de conocimiento.

A partir de la información recopilada, se desarrollaron varios modelos alternativos que permiten explorar diferentes configuraciones del sistema de riesgos. Estos modelos varían en función de los criterios utilizados para establecer las relaciones entre riesgos, lo que permite analizar la robustez de los resultados y comparar distintas hipótesis sobre la dinámica del sistema. Esta estrategia de modelización múltiple responde a la necesidad de capturar la incertidumbre inherente al análisis de sistemas complejos y de ofrecer una visión más completa de las posibles trayectorias de riesgo.

Una vez contruidos los modelos, se procedió al cálculo de diversas métricas las cuales son explicadas en mayor detalle más adelante. El **grado de salida** se utilizó para identificar los riesgos con mayor capacidad de generar impactos en otros, mientras que el **grado de entrada** permitió detectar aquellos más vulnerables a influencias externas. La **centralidad de cercanía** se empleó para evaluar la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema, es decir el número de saltos que deben producirse para afectar de un riesgo a otro, y la **centralidad de intermediación** permitió identificar los nodos que actúan como puentes en la propagación de efectos. Estas métricas ofrecen una base cuantitativa para priorizar intervenciones, identificar puntos críticos y diseñar estrategias de gestión del riesgo más eficaces.

En conjunto, este enfoque permite avanzar hacia una comprensión más integrada y dinámica de los riesgos climáticos, superando ciertas limitaciones de los análisis sectoriales tradicionales. Al combinar herramientas analíticas rigurosas con procesos participativos inclusivos, el estudio contribuye a fortalecer la capacidad de anticipación y respuesta frente a los desafíos complejos que plantea el cambio climático. Los resultados obtenidos no solo tienen implicaciones para la formulación de políticas públicas, sino que también ofrecen una base sólida para el diseño de estrategias de adaptación y resiliencia que consideren la naturaleza interdependiente y sistémica del riesgo.

Este capítulo se organiza de la siguiente manera:

- En el apartado **Modelo de riesgos complejos** se describe el modelo desarrollado para el análisis de los riesgos complejos
- En **Análisis de métricas de los riesgos complejos** se muestran las métricas calculadas para los diferentes riesgos de grado de salida, grado de entrada, cercanía e intermediación.
- En el apartado **Mapeo de relaciones directas entre riesgos** se muestran las relaciones directas de entrada y salida de cada riesgo.
- Por último, en **Conclusiones** se recogen las principales conclusiones derivadas del análisis de riesgos complejos realizado.

2 MODELO DE RIESGOS COMPLEJOS

Se han analizado un total de 51 riesgos pertenecientes a los 14 sectores contemplados en el proyecto (Tabla 1).

Tabla 1 Sectores y riesgos clave analizados

SECTOR	CÓDIGO	RIESGO
1. SALUD HUMANA	RC1.1	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas)
	RC1.2	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas
	RC1.3	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica
2. AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS	RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración
	RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival
	RC2.3	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes
3. PATRIMONIO NATURAL, BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS	RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles
	RC3.2	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)
	RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas
	RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas
4. FORESTAL, DESERTIFICACIÓN, CAZA Y PESCA CONTINENTAL	RC4.1	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima
	RC4.2	Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema
	RC4.3	Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios en las variables climáticas
	RC4.4	Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las

5. AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ACUICULTURA Y ALIMENTACIÓN		temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales
	RC4.5	Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático
	RC5.1	Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua
	RC5.2	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos
	RC5.3	Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones
6. COSTAS Y MEDIO MARINO	RC5.4	Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o a los cambios en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas
	RC6.1	Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo
	RC6.2	Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos
	RC6.3	Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos
7. CIUDAD, URBANISMO Y EDIFICACIÓN	RC6.4	Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar
	RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos
	RC7.2	Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)
	RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas
	RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas

8. PATRIMONIO CULTURAL	RC8.1	Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera
	RC8.2	Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales
	RC8.3	Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático
9. ENERGÍA	RC9.1	Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos
	RC9.2	Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica
	RC9.3	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas
10. MOVILIDAD Y TRANSPORTE	RC10.1	Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos
	RC10.2	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras)
	RC10.3	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, nieblas, incendios, nieve)
	RC10.4	Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (incendios, inundaciones fluviales, costeras, pluviales, precipitaciones intensas, incendios, nieve, hielo, vientos extremos)
11. INDUSTRIA Y SERVICIOS	RC11.1	Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos
	RC11.2	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico
	RC11.3	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas

12. TURISMO	RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas (ganadería, agricultura, silvicultura, etc.)
	RC12.1	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort
	RC12.2	Riesgo de un aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos
	RC12.3	Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales
13. SISTEMA FINANCIERO Y ACTIVIDAD ASEGURADORA	RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático
	RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático
	RC13.3	Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez
	RC13.4	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima
14. PAZ, SEGURIDAD Y COHESIÓN SOCIAL	RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático
	RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas
	RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos

Para el desarrollo del modelo de riesgos complejos se ha llevado a cabo un proceso participativo que contó con la colaboración de personas expertas en distintos ámbitos sectoriales. Estas aportaciones se recogieron mediante el uso de matrices de adyacencia diseñadas para relacionar los riesgos clave.

Como primer paso del proceso, se organizó un taller introductorio en el que se presentó la metodología empleada para abordar los riesgos complejos.

Una vez realizado el primer taller, se abrió un periodo para que la OECC, Consorcio y el Grupo asesor completaran las matrices de adyacencia, destinadas a identificar las interrelaciones entre los riesgos clave. Estas matrices contienen, tanto en filas como en columnas, los riesgos clave descritos en la Tabla 1.

Los resultados obtenidos fueron compartidos y discutidos en un segundo taller. Durante este encuentro se identificó la necesidad de reforzar el número de matrices obtenidas en algunos sectores, así como el interés generado por los resultados preliminares. Esto motivó la apertura de un segundo periodo para completar las matrices pendientes.

En total se recibieron 63 matrices de adyacencia de las diferentes organizaciones que han participado en este proyecto (Tabla 2).

Tabla 2 Matrices recibidas

SECTORES	CANTIDAD DE MATRICES POR TIPO DE ACTOR			
	OECC	Consortio	Grupo asesor	Total
1. SALUD HUMANA	1	1	2	4
2. AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS	1	1	7	9
3. PATRIMONIO NATURAL, BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS	1	1	1	3
4. FORESTAL, DESERTIFICACIÓN, CAZA Y PESCA CONTINENTAL	1	1	2	4
5. AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ACUICULTURA Y ALIMENTACIÓN	1	1	2	4
6. COSTAS Y MEDIO MARINO	1	1	2	4
7. CIUDAD, URBANISMO Y EDIFICACIÓN	2	2	2	6
8. PATRIMONIO CULTURAL	1	2	1	4
9. ENERGÍA	1	1	2	4
10. MOVILIDAD Y TRANSPORTE	2	2	1	5
11. INDUSTRIA Y SERVICIOS	2	2	1	5
12. TURISMO	1	1	2	4
13. SISTEMA FINANCIERO Y ACTIVIDAD ASEGURADORA	1	1	1	3
14. PAZ, SEGURIDAD Y COHESIÓN SOCIAL	1	2	1	4
TOTAL	17	19	27	63

Los modelos de riesgos complejos desarrollados se basan en la teoría de grafos. Esta rama de las matemáticas, con aplicaciones en campos muy diversos, estudia las propiedades de los grafos, que pueden entenderse como un par ordenado compuesto por un conjunto de vértices y aristas. En este caso, los vértices (nodos) representan los 51 riesgos clave, mientras que las aristas se refieren a las relaciones entre ellos, obtenidas a través de las matrices de adyacencia. Estos modelos permiten comprender de manera analítica las interacciones entre los riesgos, integrando las perspectivas de los participantes según sus áreas de especialización, y ofreciendo así una visión más completa de sus interrelaciones.

Con el fin de abordar posibles desequilibrios en la cumplimentación de las matrices, derivados de la participación desigual entre sectores, así como las divergencias en las valoraciones realizadas por los distintos participantes, se desarrollaron una serie de modelos bajo diferentes criterios metodológicos.

Todos los modelos tienen 51 nodos que se corresponden con los riesgos clave analizados y un número variable de enlaces o aristas en función del criterio adoptado en cada modelo. El primer modelo estudiado es el más permisivo, ya que considera que existe una relación si ésta aparece al menos en una de las

matrices de adyacencia, dando lugar a un grafo con 1.770 enlaces. En el segundo modelo únicamente se incluye una relación si la mayoría de los expertos —más del cincuenta por ciento— así lo considera, obteniéndose un grafo con 938 enlaces. El tercer modelo es el único ponderado, debido a que incluye todas las relaciones (1.770 enlaces), pero asigna a cada arista un peso según el grado de acuerdo entre los participantes, obtenido de las matrices de adyacencia. Por último, el modelo seleccionado es una combinación del segundo y del tercero, aplicando un criterio de acuerdo más restrictivo en la inclusión de las relaciones existentes entre riesgos. Este modelo da lugar a 372 enlaces.

A continuación, se muestra el grafo del modelo seleccionado (Figura 1). Los nodos representan los riesgos clave siguiendo la nomenclatura RCX.Y, donde “X” es el sector —asociado a un único color— e “Y” es el riesgo clave dentro de dicho sector. Los enlaces, por su parte, representan las relaciones entre los riesgos clave. Para seleccionar el modelo más adecuado, se aplicaron métricas globales que permiten analizar el grafo en su conjunto y facilitan la comprensión general del modelo teniendo en cuenta el número final de aristas, la cantidad de pares de conexiones mutuas, la densidad y el diámetro del grafo. El modelo seleccionado es el que mejor identifica las relaciones más significativas y filtra los valores erróneos de forma más completa, dando lugar a un modelo más robusto y consistente.

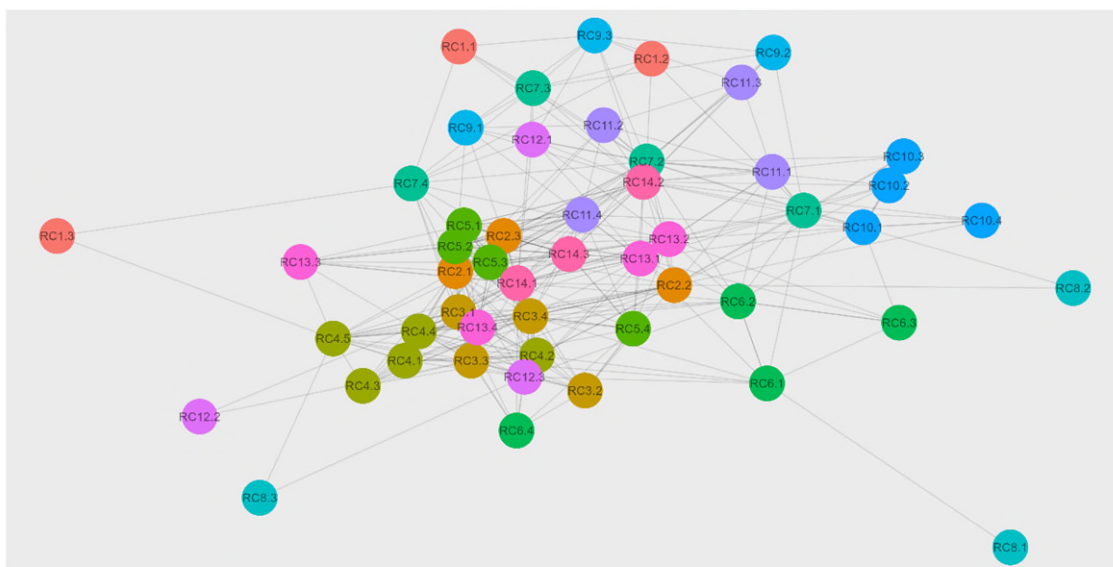


Figura 1 Modelo de riesgos complejos seleccionado

Este modelo es el más restrictivo a la hora de considerar si existe una relación entre los riesgos clave. Esto permite destacar las relaciones con un mayor grado de acuerdo y filtrar posibles errores que se hayan podido producir al rellenar las matrices de adyacencia. Para ello, se dividen las matrices recibidas por sectores y se calcula el grado de acuerdo intrasectorial de las relaciones existentes entre riesgos clave. A continuación, se combinan las matrices sectoriales para obtener una única matriz con las medias de los acuerdos intra e intersectoriales. El último paso consiste en filtrar las relaciones considerando un nivel de acuerdo de 0,7: cuando el acuerdo sea inferior a este valor no se incluye la relación, y cuando sea igual o mayor se incluye la relación.

El modelo seleccionado se compone de 51 nodos y 372 enlaces. Se identifican 57 pares con conexiones mutuas, es decir, existe un enlace entre el riesgo i y el riesgo j , y a su vez existe un enlace entre el riesgo j y el riesgo i .

La densidad representa la proporción de relaciones existentes entre riesgos, respecto al total posible. En este caso, la densidad es de 0.146 —14,6%—.

El diámetro de un grafo es el número máximo de pasos (o enlaces) que hay que recorrer para ir de un nodo a otro siguiendo el camino más corto posible —geodésico—. En este caso, el diámetro es 7, lo que significa que los dos riesgos más alejados entre sí están conectados por un camino mínimo de 7 pasos.

En los siguientes apartados se mostrarán los resultados para el modelo seleccionado.

VERSIÓN NO EDITADA

3 ANÁLISIS DE MÉTRICAS DE LOS RIESGOS COMPLEJOS

En este apartado se analizan los riesgos complejos de forma sistémica para el modelo seleccionado. Por ello, se muestra una aproximación al modelo de forma integral, teniendo en cuenta todos los riesgos y las relaciones que existen entre ellos y se exponen una serie de métricas calculadas sobre el modelo de grado de salida, grado de entrada, cercanía e intermediación (Tabla 3).

Tabla 3 Métricas obtenidas

RIESGO	GRADO ENTRADA	GRADO SALIDA	CERCANÍA	INTERMEDIACIÓN
RC1.1	5	0	0,000	0,000
RC1.2	5	0	0,000	0,000
RC1.3	2	0	0,000	0,000
RC2.1	2	26	0,012	281,366
RC2.2	5	18	0,011	257,000
RC2.3	9	15	0,008	150,622
RC3.1	8	17	0,010	46,915
RC3.2	7	6	0,008	9,767
RC3.3	10	15	0,010	116,670
RC3.4	17	16	0,011	543,977
RC4.1	6	11	0,010	9,613
RC4.2	8	13	0,010	191,974
RC4.3	8	3	0,007	0,236
RC4.4	8	16	0,011	50,447
RC4.5	4	15	0,010	54,224
RC5.1	9	13	0,009	451,938
RC5.2	12	12	0,008	249,095
RC5.3	13	9	0,008	133,505
RC5.4	6	8	0,008	21,983
RC6.1	2	8	0,009	137,273
RC6.2	2	13	0,010	39,283
RC6.3	2	4	0,007	1,139
RC6.4	1	7	0,008	0,200
RC7.1	5	11	0,007	96,636
RC7.2	14	13	0,008	240,974
RC7.3	7	3	0,004	33,270
RC7.4	6	6	0,004	64,715
RC8.1	1	0	0,000	0,000
RC8.2	2	0	0,000	0,000
RC8.3	1	1	0,004	0,000
RC9.1	2	6	0,006	36,233
RC9.2	1	5	0,006	8,100
RC9.3	2	7	0,006	2,167
RC10.1	5	7	0,007	28,967
RC10.2	1	6	0,007	10,260

RC10.3	4	3	0,006	14,048
RC10.4	3	2	0,006	14,048
RC11.1	4	7	0,007	53,773
RC11.2	6	3	0,006	9,495
RC11.3	4	3	0,006	3,950
RC11.4	12	5	0,006	44,166
RC12.1	5	3	0,005	70,976
RC12.2	1	1	0,005	0,000
RC12.3	14	3	0,005	53,042
RC13.1	22	1	0,005	2,735
RC13.2	19	1	0,005	23,807
RC13.3	8	2	0,006	0,435
RC13.4	13	1	0,006	1,650
RC14.1	29	7	0,007	446,687
RC14.2	20	9	0,007	266,131
RC14.3	10	11	0,008	77,508

A continuación, se analizarán los valores obtenidos en cada una de estas métricas de uno en uno en los siguientes subapartados donde se recogen los siete riesgos con valores más altos a modo representativo. Para más información, puede consultarse la Tabla 3.

3.1 Grado de salida

El grado de salida representa la cantidad de conexiones que parten desde un nodo hacia otros dentro del grafo, lo que en este estudio se interpreta como la capacidad de un riesgo para influir en otros. Un alto grado de salida indica que un riesgo tiene un papel activo en la propagación de efectos dentro del sistema, actuando como un nodo emisor de impactos. En el contexto del cambio climático, estos riesgos pueden ser considerados como catalizadores de dinámicas complejas, ya que su activación puede desencadenar múltiples consecuencias en cadena. Identificar estos nodos permite priorizar acciones preventivas y de mitigación, ya que intervenir sobre ellos puede reducir significativamente la propagación de impactos sistémicos. En los resultados obtenidos, se destacan varios riesgos con grados de salida elevados, lo que sugiere su centralidad como motores de cambio dentro del sistema analizado. Esta información es clave para diseñar estrategias de gestión del riesgo más eficaces y proactivas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el grado de salida (Figura 2) donde los riesgos con mayor grado de salida tienen un mayor tamaño y tienen un color más claro. Se observa que la distribución está sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos con valores superiores al resto (Figura 3).

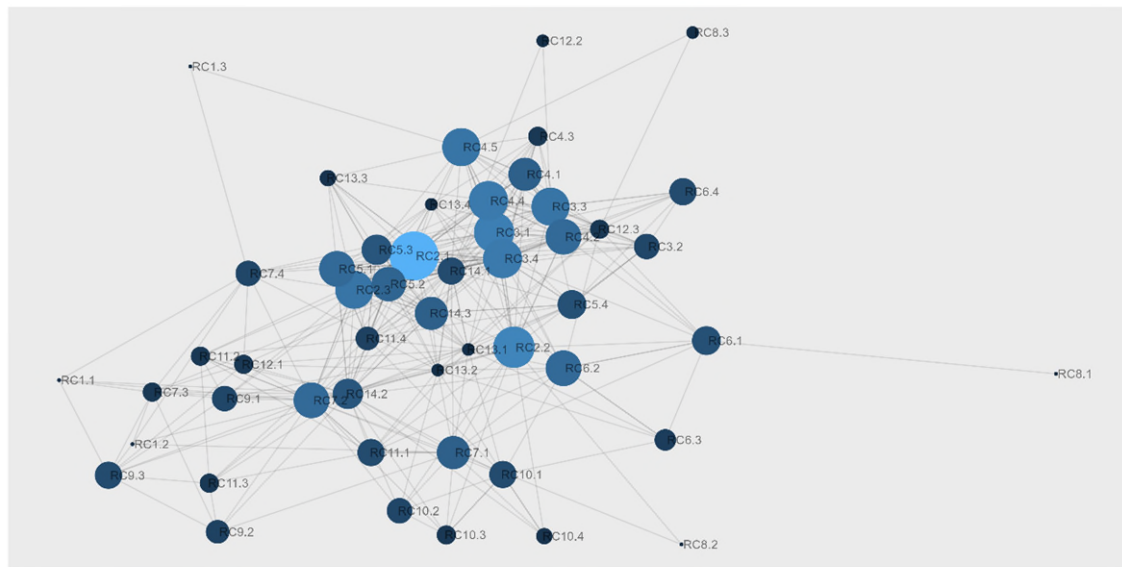


Figura 2 Grado de salida.

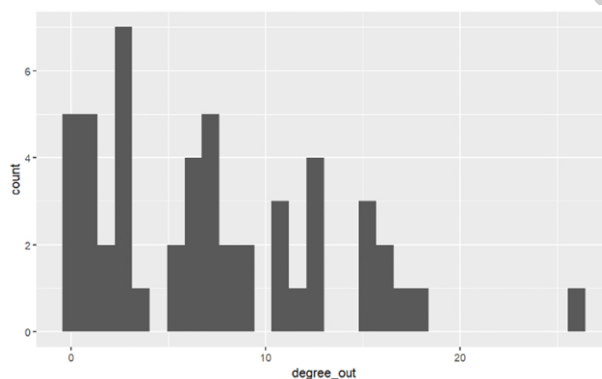


Figura 3 Grado de salida (histograma)

Los riesgos con mayor grado de salida son, en orden descendente:

- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC3.1 - Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC4.4 - Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.
- RC4.5 - Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.
- RC3.3 - Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.

- RC2.3 - Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.

3.2 Grado de entrada

El grado de entrada mide cuántas conexiones llegan a un nodo desde otros, lo que refleja su nivel de dependencia frente a otros riesgos. En el análisis realizado, los nodos con un alto grado de entrada son aquellos que reciben influencia de múltiples riesgos, lo que los convierte en puntos críticos de acumulación de impactos. Estos riesgos no necesariamente generan efectos en otros, pero sí son altamente susceptibles a las dinámicas del sistema. Este tipo de análisis permite identificar los riesgos más expuestos dentro de la red, lo cual es fundamental para diseñar estrategias de adaptación y resiliencia. En los resultados obtenidos se observa que ciertos riesgos actúan como receptores de múltiples influencias, lo que los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema. Comprender esta dimensión permite anticipar posibles puntos de colapso o acumulación de tensiones, y orientar recursos hacia la protección de los elementos más vulnerables del sistema climático y socioeconómico.

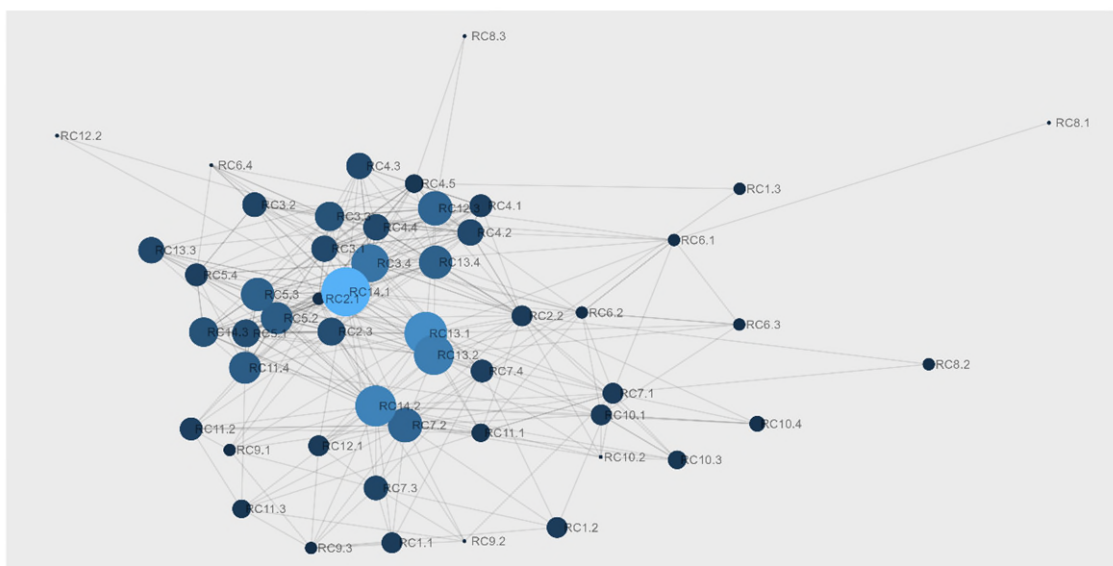


Figura 4 Grado de entrada

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para el grado de entrada donde los riesgos con una métrica mayor tienen un mayor tamaño y un color más claro. Se observa que la distribución está sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos que destacan sobre los demás (Figura 5).

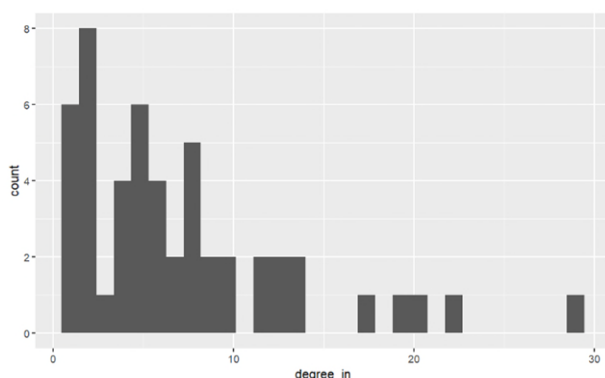


Figura 5 Grado de entrada (histograma)

A continuación, se listan en orden descendente los riesgos con grado de entrada mayor:

- RC14.1 - Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
- RC13.1 - Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.
- RC14.2 - Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas.
- RC13.2 - Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC7.2 - Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).
- RC12.3 - Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales.

3.3 Cercanía

La métrica de cercanía evalúa la proximidad de un nodo respecto al resto de los nodos del grafo, considerando la longitud de los caminos más cortos. En términos prácticos, un nodo con alta cercanía puede alcanzar rápidamente a otros nodos, lo que implica una posición estratégica dentro de la red para la difusión de impactos o información. En el contexto del cambio climático, los riesgos con alta cercanía son aquellos que, aunque no tengan muchos vínculos directos, están bien posicionados para influir o ser influenciados de forma eficiente. Esto los convierte en elementos clave para la propagación rápida de efectos sistémicos. En los resultados del análisis, se identifican varios nodos con alta centralidad de cercanía, lo que sugiere su papel como intermediarios eficaces dentro del sistema. Esta información es útil para diseñar intervenciones que busquen interrumpir la propagación de impactos o mejorar la comunicación y coordinación entre sectores afectados por el cambio climático.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la métrica de cercanía (Figura 6) donde los riesgos con mayor cercanía tienen un mayor tamaño y tienen un color más claro. En este caso se observa que la distribución es más similar a una normal, no existiendo unos pocos riesgos dominando la distribución (Figura 7).

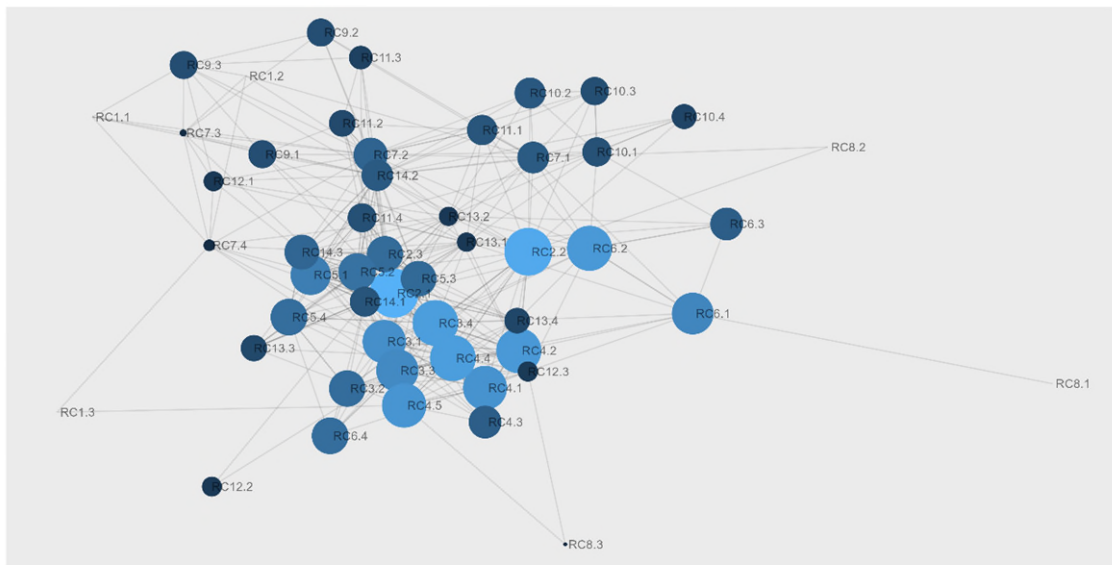


Figura 6 Cercanía

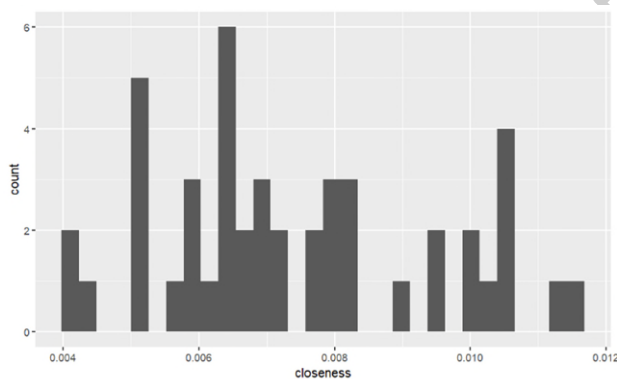


Figura 7 Cercanía (histograma)

Los riesgos con una cercanía mayor son:

- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC4.4 - Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.
- RC4.2 - Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema.
- RC6.2 - Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos.
- RC4.5 - Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.

- RC3.3 - Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.
- RC4.1 – Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.

3.4 Intermediación

La centralidad de intermediación mide la frecuencia con la que un nodo aparece en los caminos más cortos entre otros pares de nodos. Esta métrica identifica los nodos que actúan como puentes o cuellos de botella dentro del sistema, facilitando o bloqueando la transmisión de efectos entre diferentes partes de la red. En el análisis de riesgos complejos asociados al cambio climático, los nodos con alta intermediación son especialmente relevantes, ya que su posición les otorga un papel de control sobre la conectividad del sistema. En los resultados obtenidos se destacan ciertos riesgos con valores elevados de intermediación, lo que indica su papel estructural en la red. Estos nodos pueden ser puntos estratégicos para intervenciones que busquen modular la dinámica del sistema, ya sea para frenar la propagación de impactos o para facilitar respuestas coordinadas. Comprender la intermediación permite identificar riesgos que, aunque no sean los más influyentes o vulnerables por sí mismos, desempeñan un papel clave en la arquitectura del riesgo sistémico.

En la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos para métrica de intermediación donde los riesgos con valores mayores tienen un mayor tamaño y un color más claro. Al igual que en el grado de entrada y el grado de salida, se observa que la distribución está fuertemente sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos que destacan sobre los demás (Figura 9).

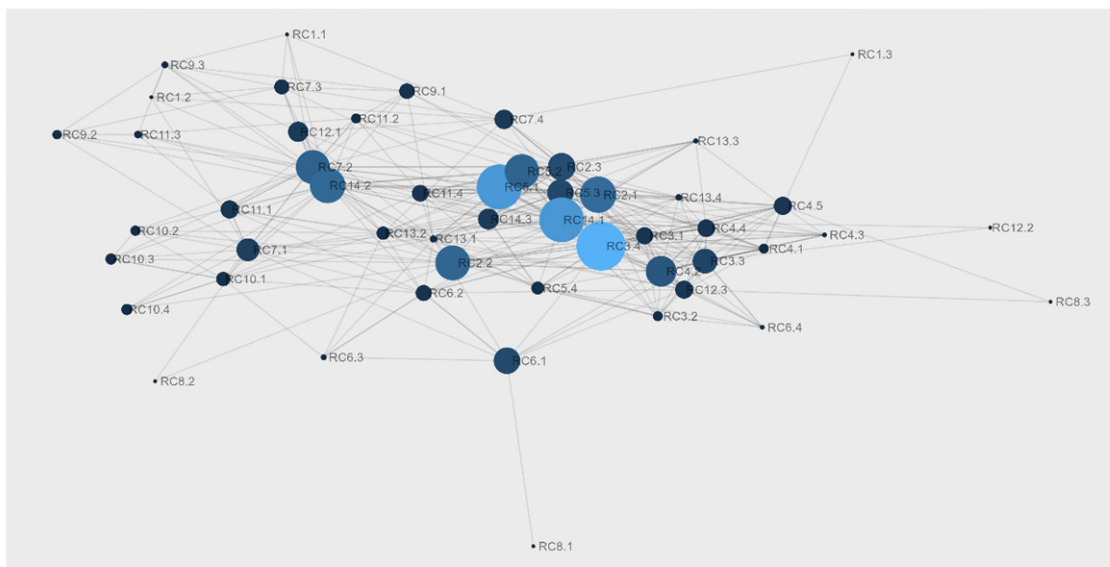


Figura 8 Intermediación

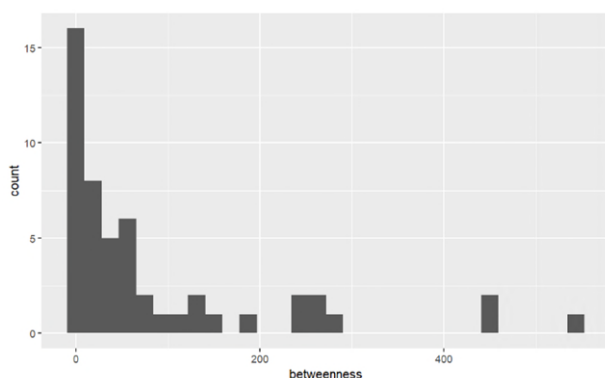


Figura 9 Intermediación (histograma)

Los riesgos con mayor intermediación son:

- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC5.1 - Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.
- RC14.1 - Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC14.2 - Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC5.2 - Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.
- RC7.2 - Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).

4 MAPEO DE RELACIONES DIRECTAS ENTRE RIESGOS

En este apartado se muestra el análisis de riesgos complejos de forma particular para cada riesgo clave. De esta forma, puede abordarse cada riesgo clave según sea de interés para conocer el detalle de con qué otros riesgos están relacionados de forma directa, ya sea mediante riesgos que pueden incrementar el riesgo en cuestión (entrada) o que pueden verse incrementados por el mismo (salida).

A continuación, se expone cada uno de los 51 riesgos clave indicando su grado de entrada, grado de salida y se mostrará una figura que recoge las relaciones directas entre riesgos. Los enlaces de entrada se representan en rojo y los de salida en azul. Se indican los códigos de los riesgos en la figura. Para conocer de cuáles se trata se recomienda consultar la Tabla 1 donde se recoge el nombre completo de cada riesgo. El tamaño de los nodos representa la intermediación de cada riesgo.

4.1 Salud humana

El *Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas)* tiene un grado de entrada 5 y grado de salida 0 (Figura 10).

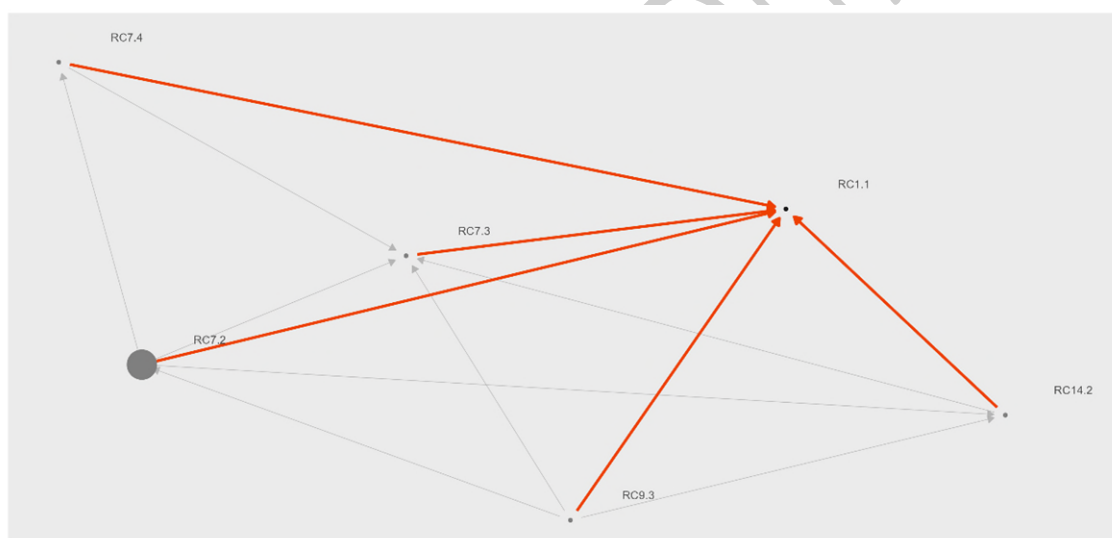


Figura 10 RC1.1

El *Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas*⁵ (Figura 11) tiene un grado de entrada 5 y grado de salida 0.

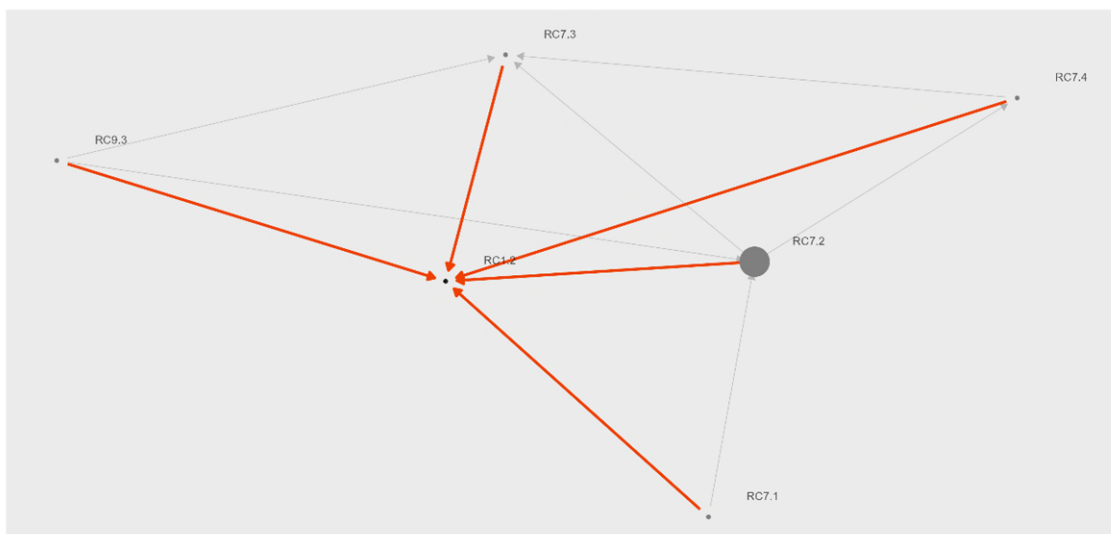


Figura 11 RC1.2

El tercer riesgo del sector salud, *Riesgo de aumento de la morbilidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica*⁶, tiene un grado de entrada 2 y de salida 0 (Figura 12).

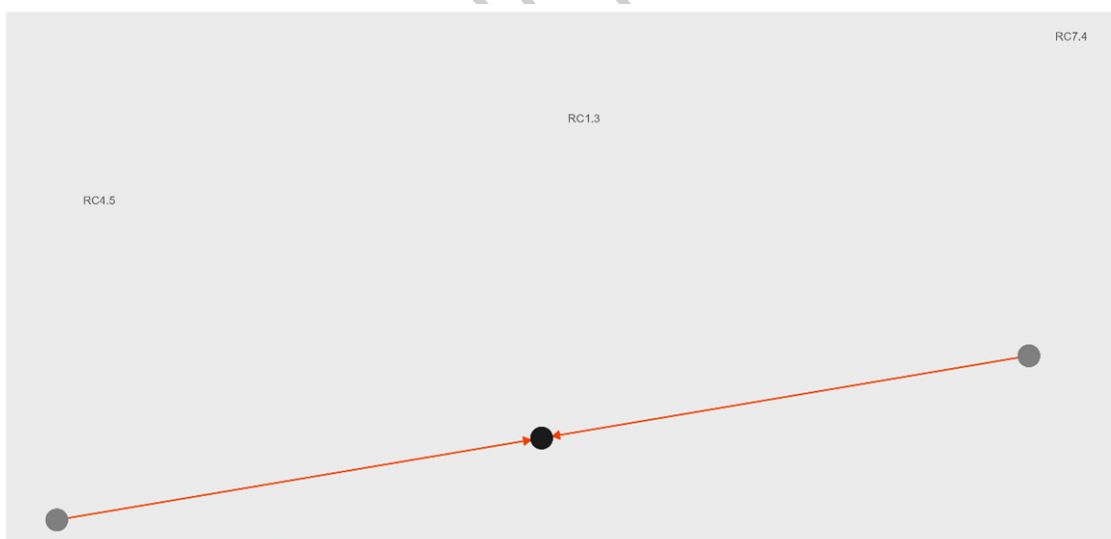


Figura 12 RC1.3

⁵ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC1.2 Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia del aumento de las temperaturas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

⁶ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC1.3 Riesgo de aumento de la morbilidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

4.2 Agua y recursos hídricos

El *Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración* (Figura 13) tiene un grado de entrada de 2 y un grado de salida 26.

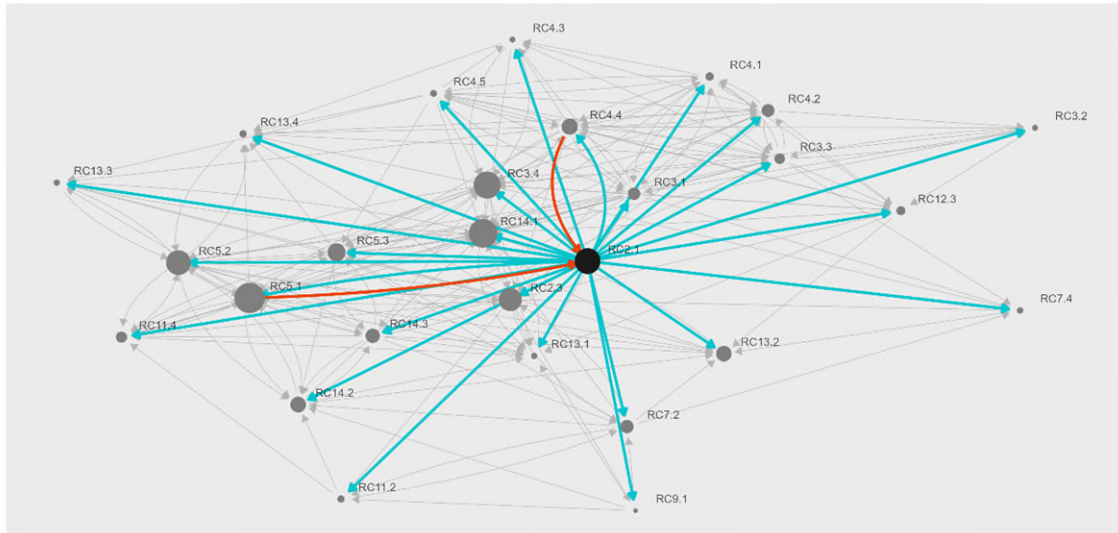


Figura 13 RC2.1

Por otra parte, el *Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival*⁷ tiene un grado de entrada de 5 y de salida 18 (Figura 14).

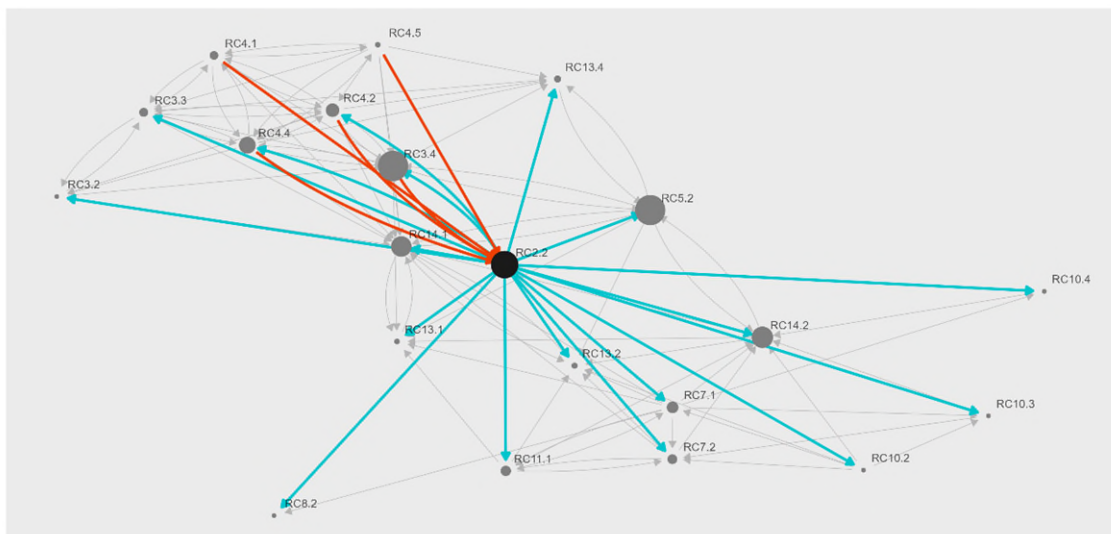


Figura 14 RC2.2

El *Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes*⁸ (Figura 15) tiene un grado de entrada 9 y de salida 15.

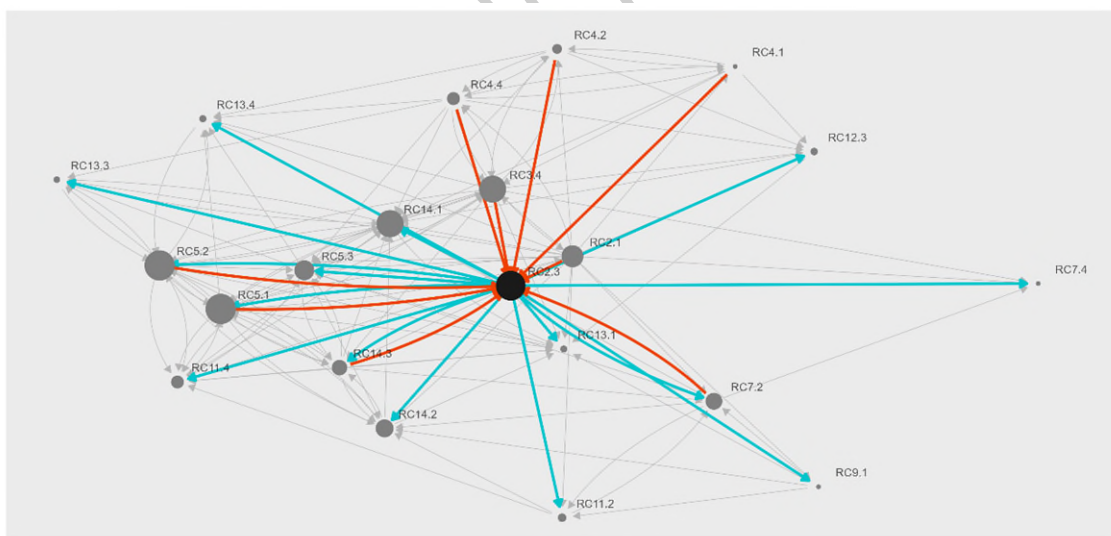


Figura 15 RC2.3

⁷ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

⁸ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

4.3 Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas

El Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles (Figura 16) tiene un grado de entrada de 8 y grado de salida 17.

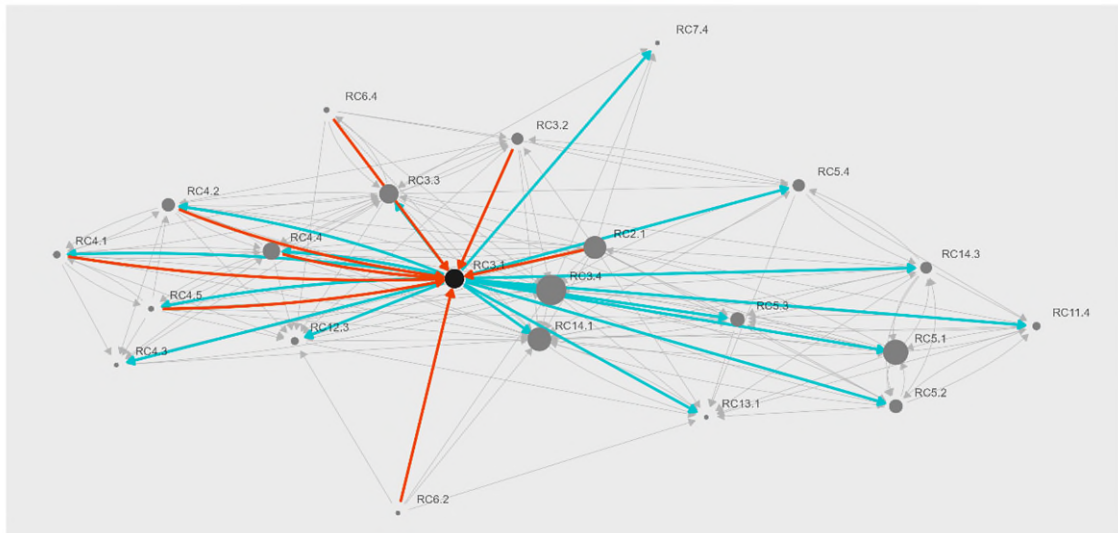


Figura 16 RC3.1

Por otra parte, el *Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)* tiene un grado de entrada de 7 y de salida de 6 (Figura 17).

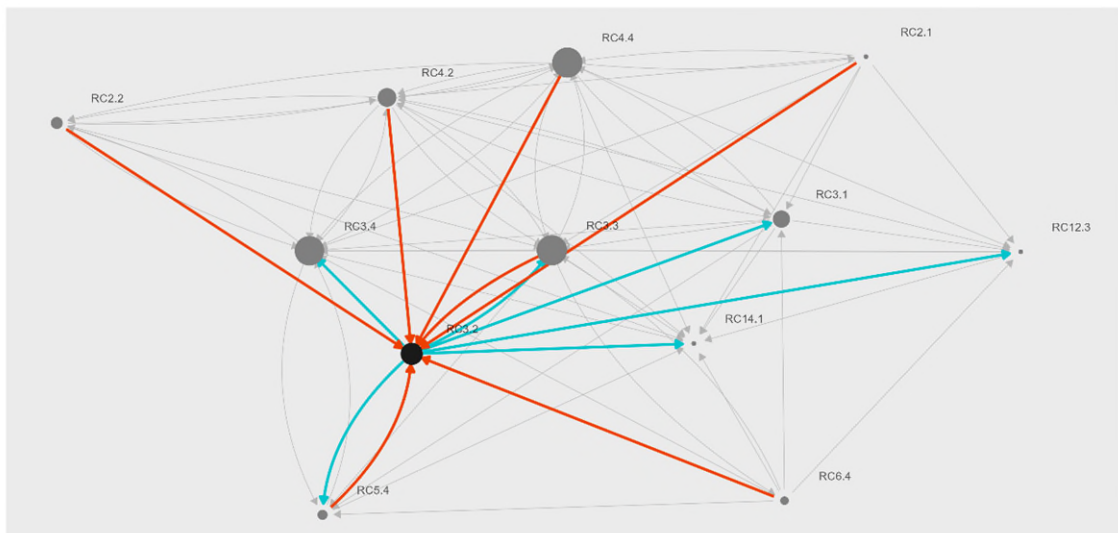


Figura 17 RC3.2

4.4 Forestal, desertificación, caza y pesca continental

El *Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima* tiene un grado de entrada de 6 y un grado de salida de 11 (Figura 20).

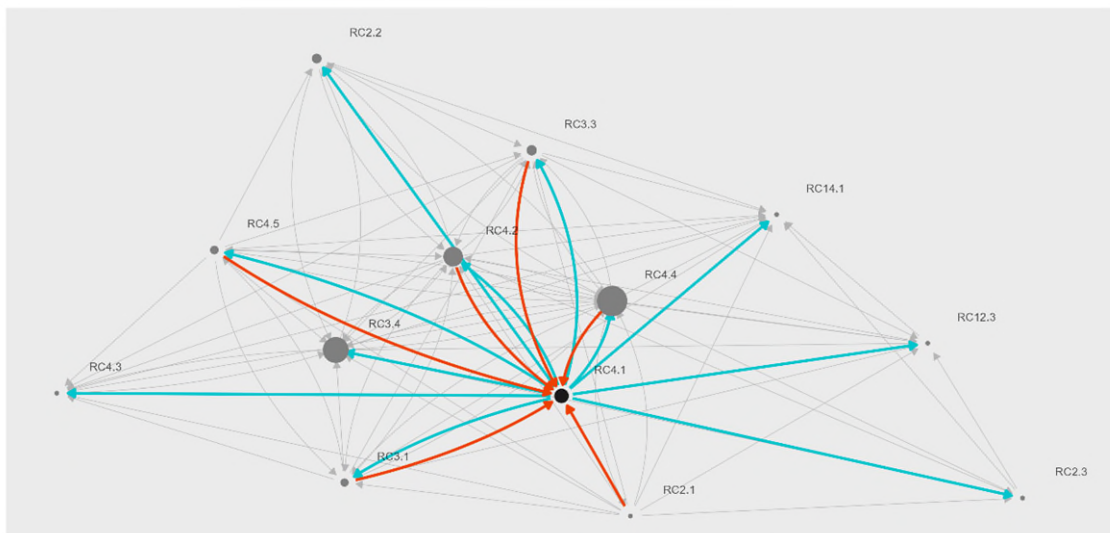


Figura 20 RC4.1

A continuación, el *Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema*⁹ (Figura 21) tiene grado de entrada 8 y de salida 13.

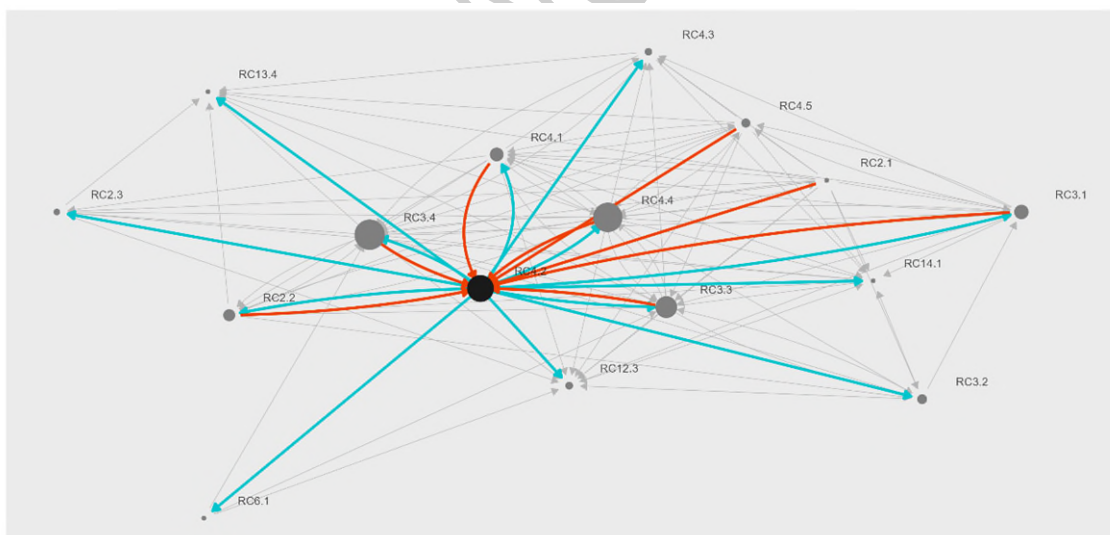


Figura 21 RC4.2

⁹ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.2 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios en las variables climáticas*¹⁰ (Figura 22) tiene un grado de entrada de 8 y de salida 3.

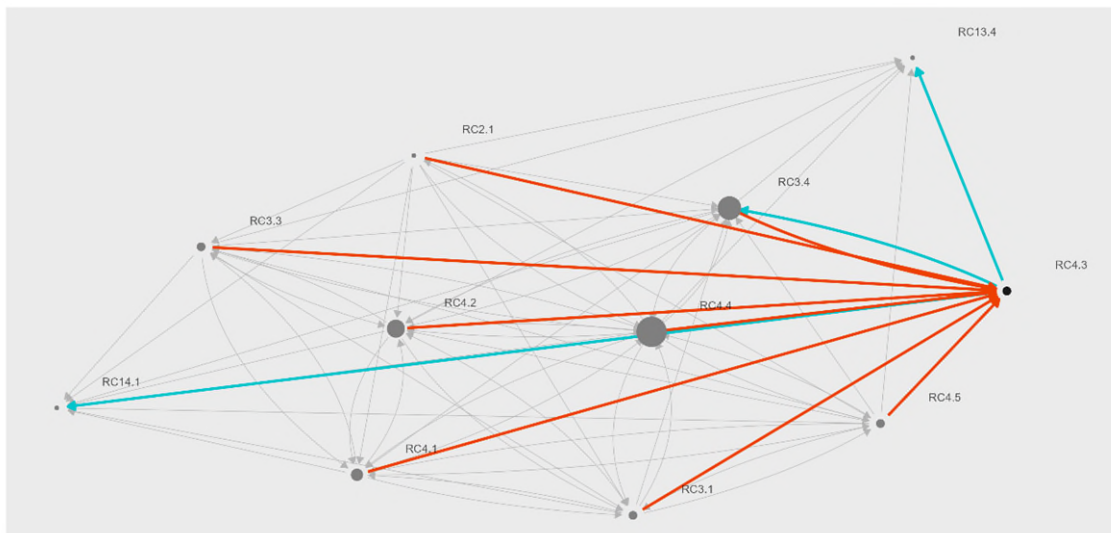
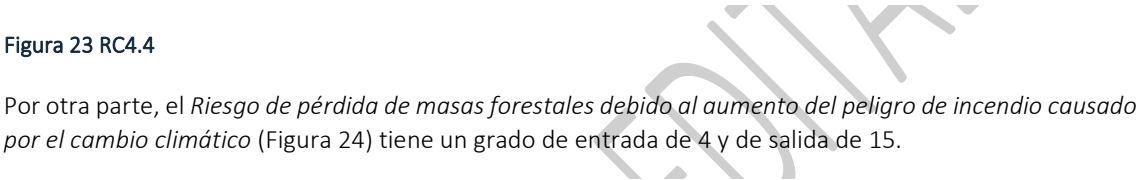


Figura 22 RC4.3

El *Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales*¹¹ (Figura 23) tiene un grado de entrada de 8 y de salida 16.

¹⁰ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.3 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

¹¹ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.4 Riesgo de aumento de la desertificación/degradación de la tierra debido a la mayor aridez y a la degradación y erosión del suelo (entre otros) como consecuencia del aumento de las temperaturas, de la disminución de las precipitaciones, del aumento de la frecuencia e intensidad de sequías, de la torrencialidad de las lluvias y del peligro meteorológico de incendios forestales, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.



Por otra parte, el *Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático* (Figura 24) tiene un grado de entrada de 4 y de salida de 15.



4.5 Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación

El *Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua* (Figura 25) tiene grado de entrada 9 y grado de salida 13.

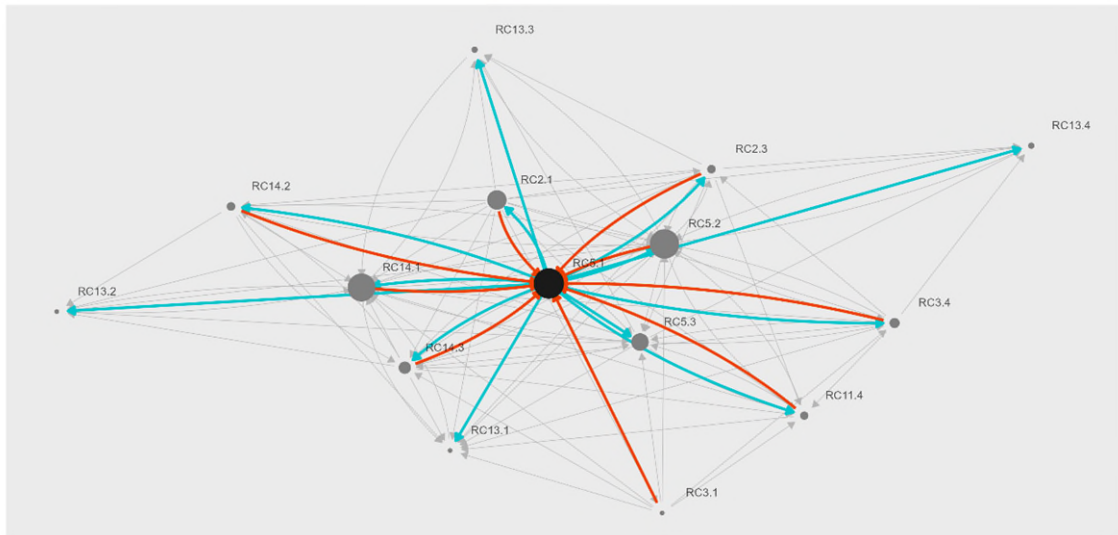


Figura 25 RC5.1

El *Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos* (Figura 26) tiene grado de entrada 12 y grado de salida 12.

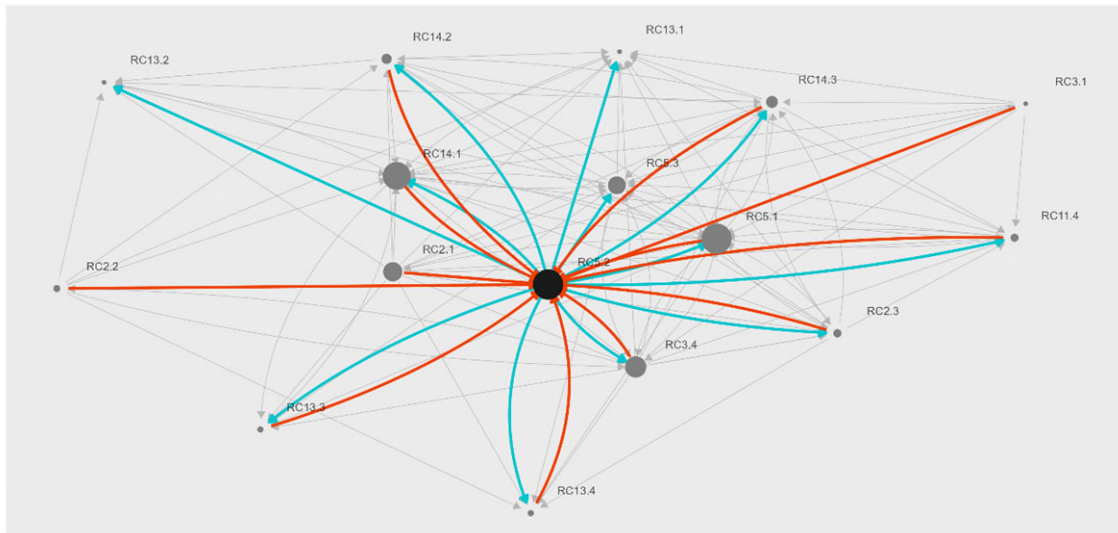


Figura 26 RC5.2

El *Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones* (Figura 27) tiene grado de entrada 13 y grado de salida 9.

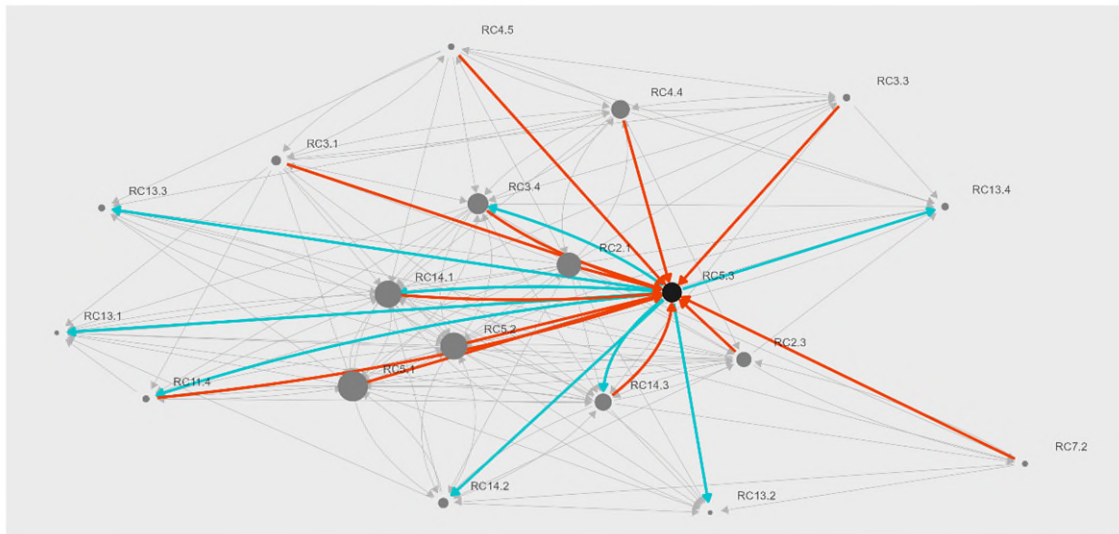


Figura 27 RC5.3

El Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o a los cambios en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas (Figura 28) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 8.

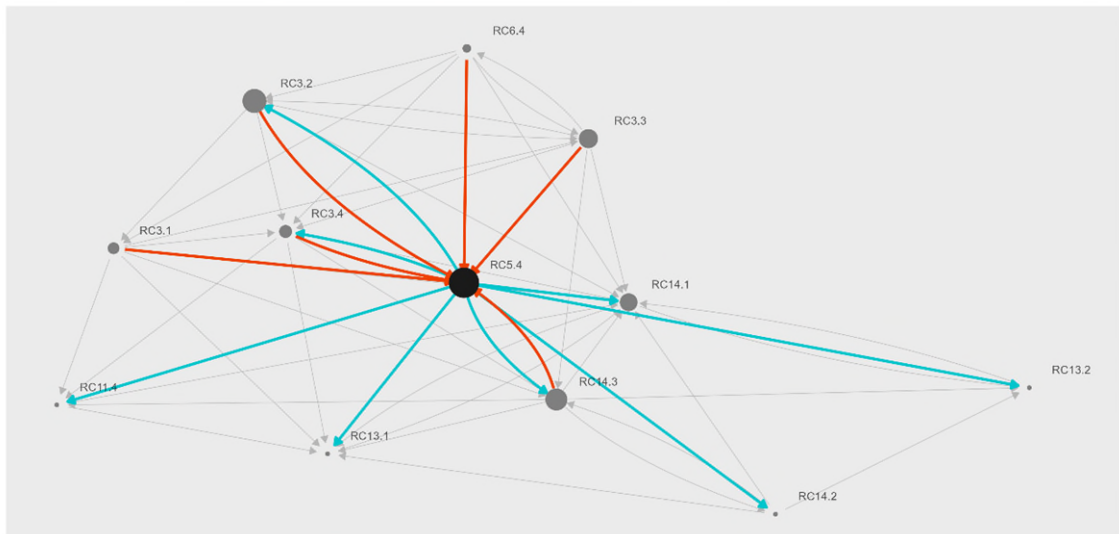


Figura 28 RC5.4

4.6 Costas y medio marino

El *Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo*¹² (Figura 29) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 8.

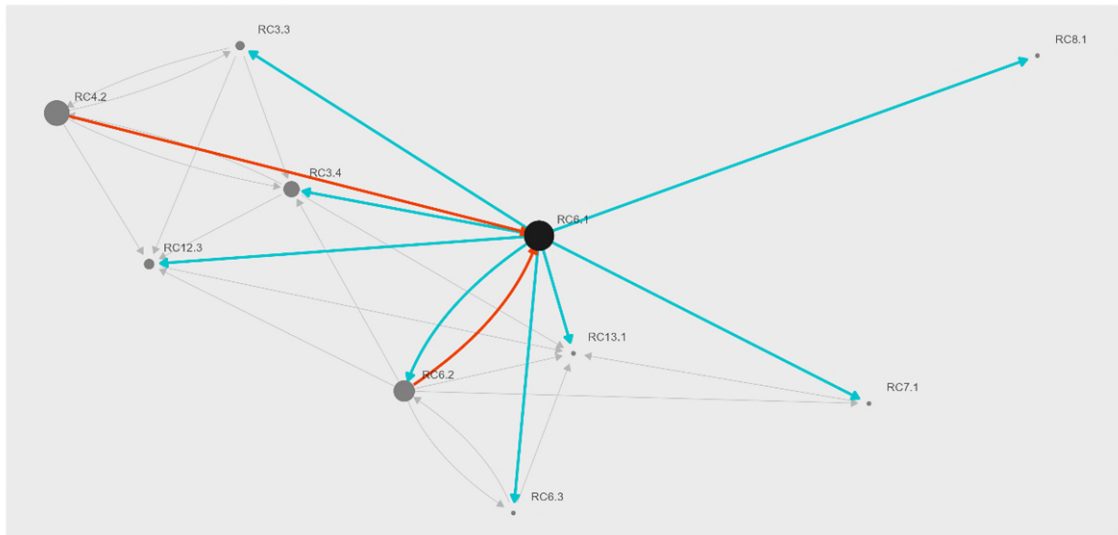


Figura 29 RC6.1

¹² Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel del mar relativo, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El Riesgo de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos¹³ (Figura 30) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 13.

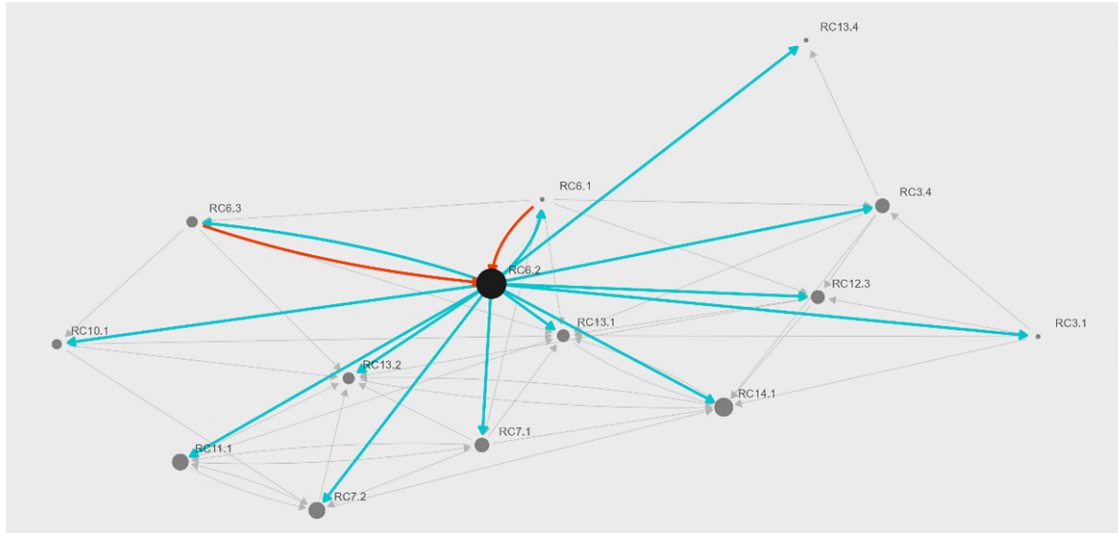


Figura 30 RC6.2

¹³ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.2 Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos*¹⁴ (Figura 31) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 4.

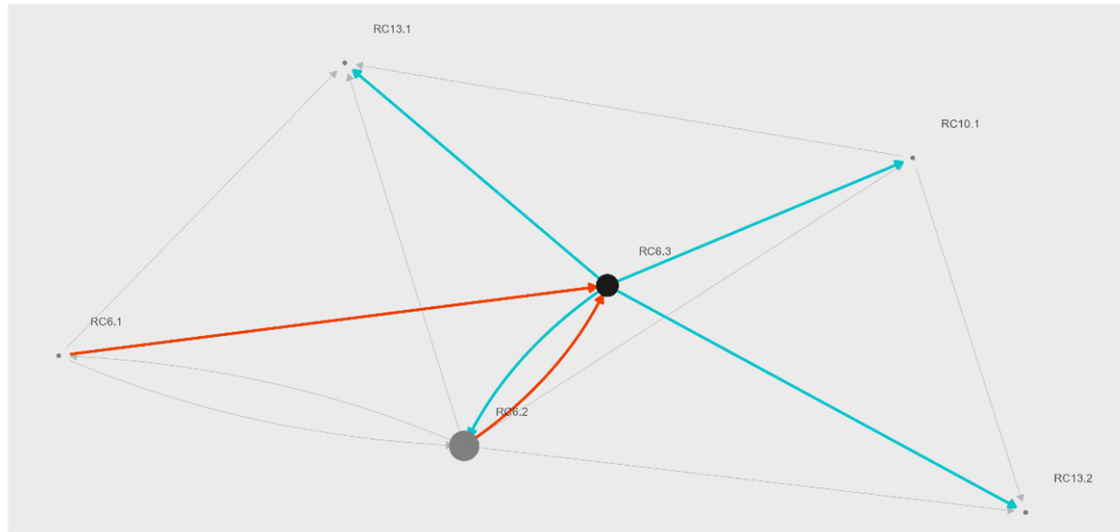


Figura 31 RC6.3

¹⁴ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.3 Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar*¹⁵ (Figura 32) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 7.

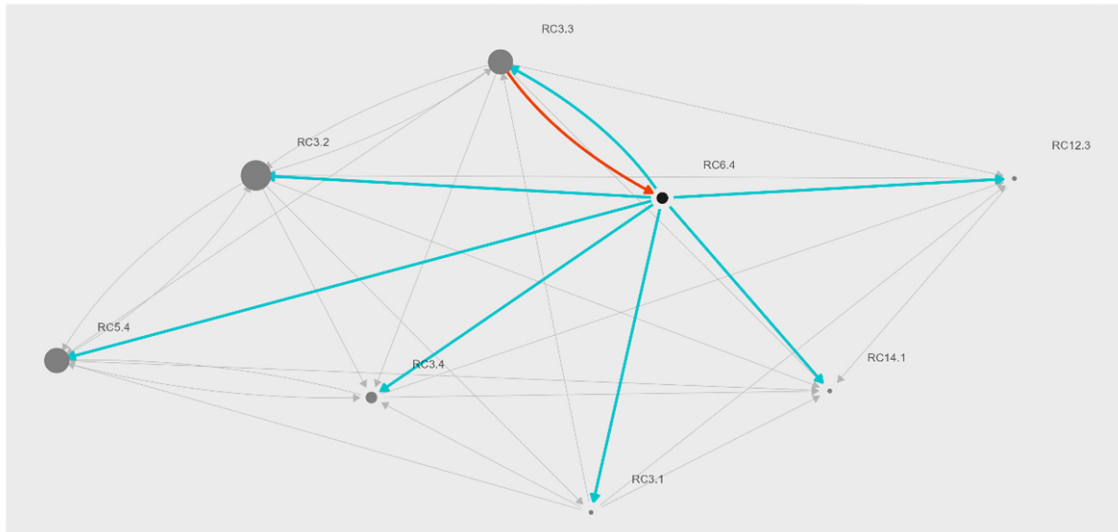


Figura 32 RC6.4

¹⁵ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.4 Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas* (Figura 35) tiene grado de entrada 7 y grado de salida 3.

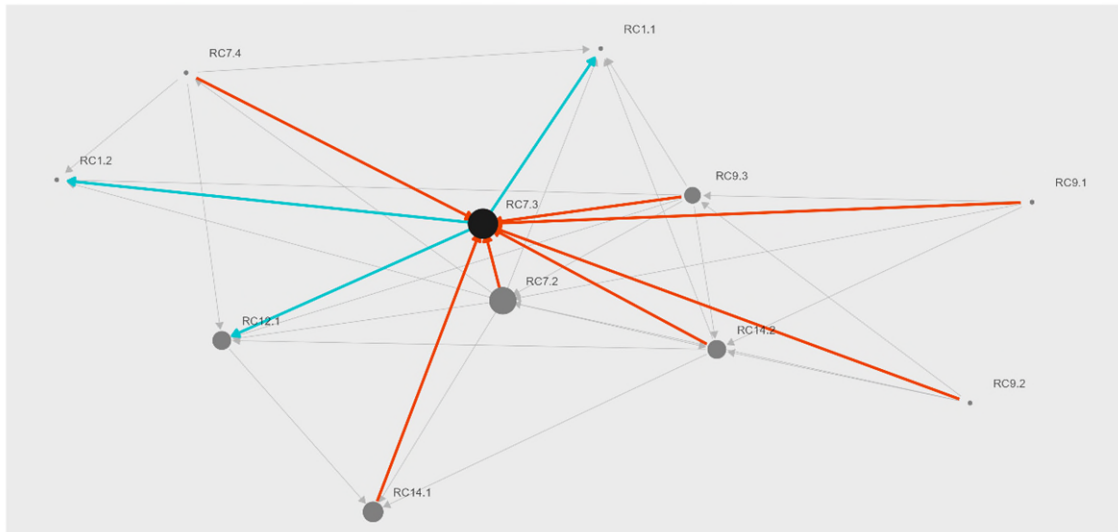


Figura 35 RC7.3

El *Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas*¹⁶ (Figura 36) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 6.

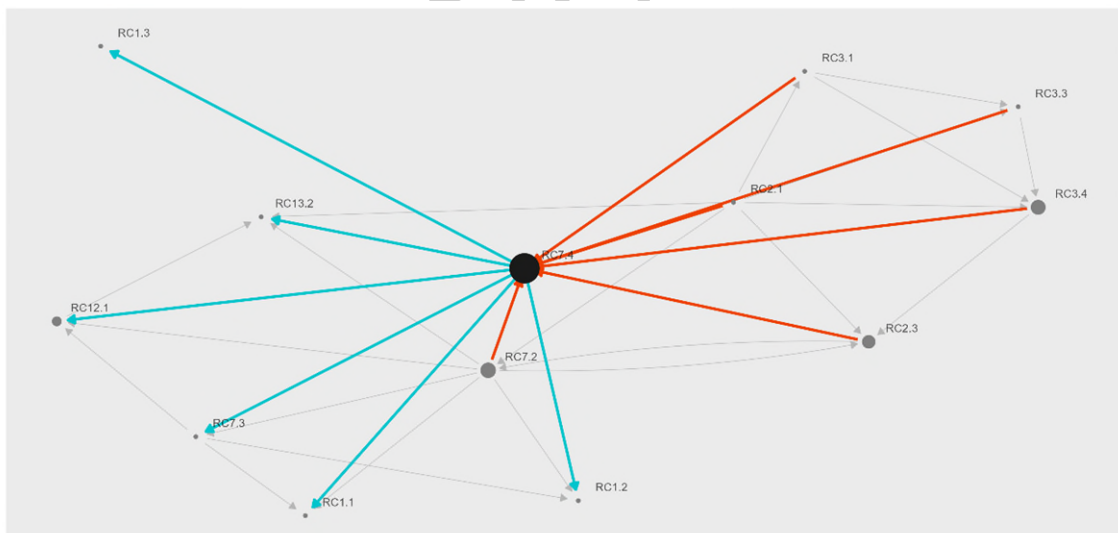


Figura 36 RC7.4

¹⁶ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC7.4 Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

4.8 Patrimonio cultural

El *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera* (Figura 37) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 0.



Figura 37 RC8.1

El *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales* (Figura 38) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 0.

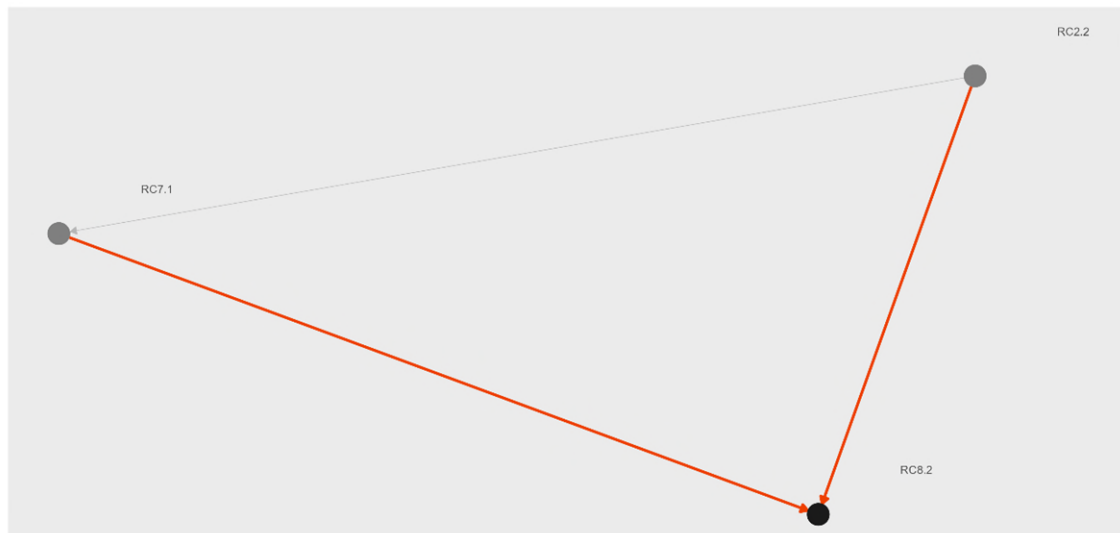


Figura 38 RC8.2

El *Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático* (Figura 39) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 1.



Figura 39 RC8.3

4.9 Energía

El *Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos* (Figura 40) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 6.

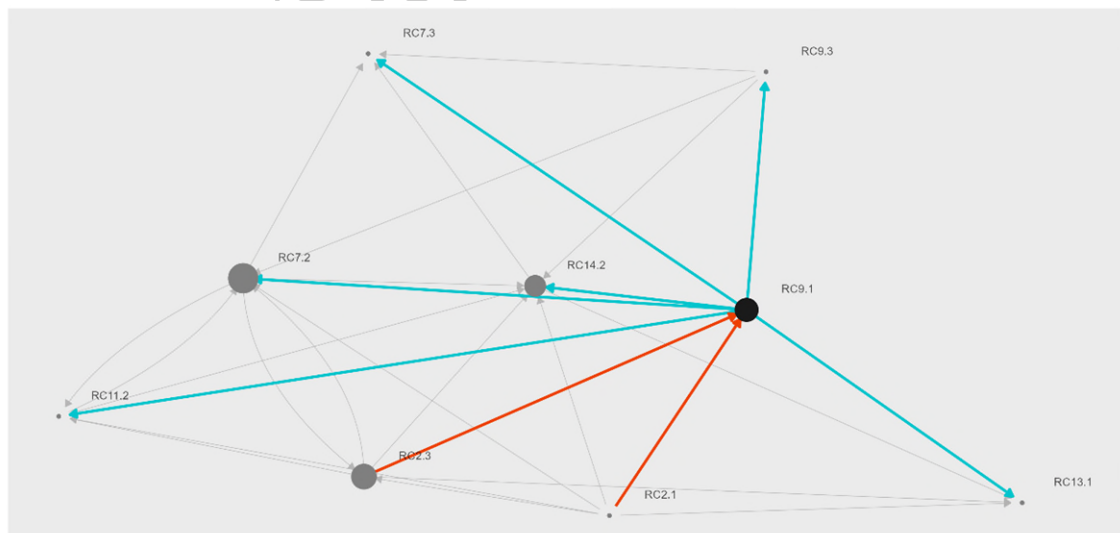


Figura 40 RC9.1

El *Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica* (Figura 41) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 5.

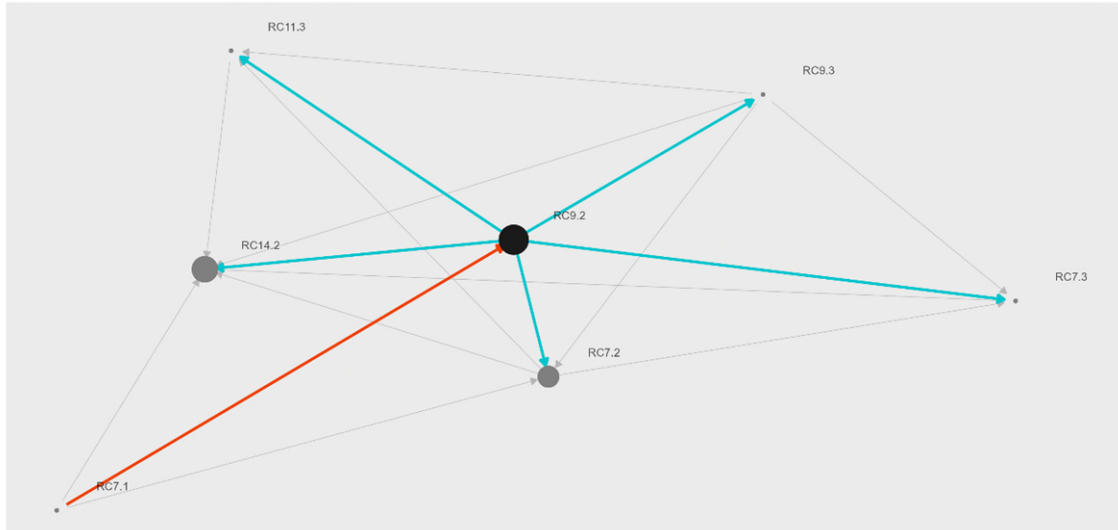


Figura 41 RC9.2

El *Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas* (Figura 42) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 7.

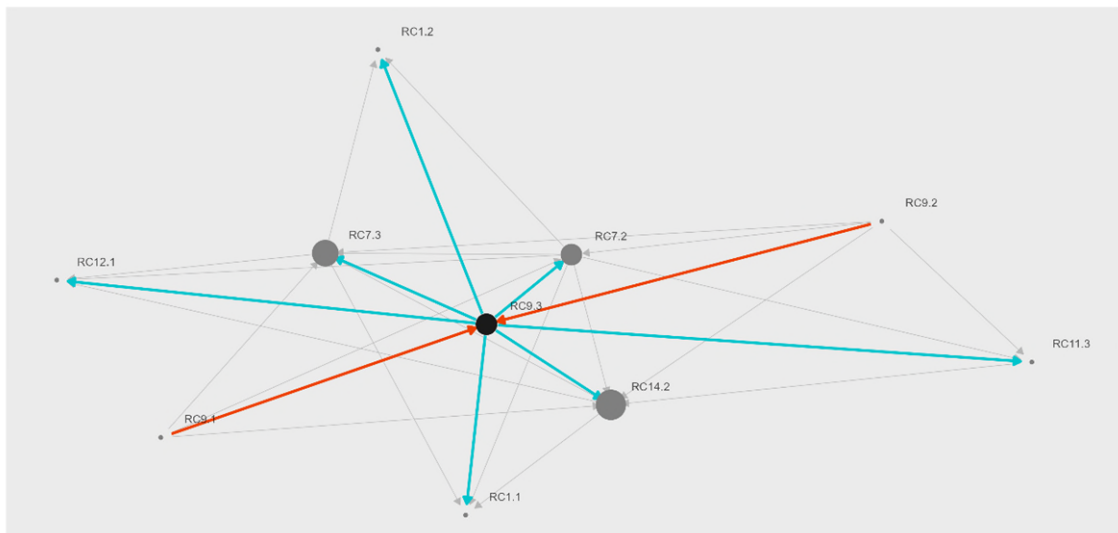


Figura 42 RC9.3

4.10 Movilidad y transporte

El *Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos* (Figura 43) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 7.

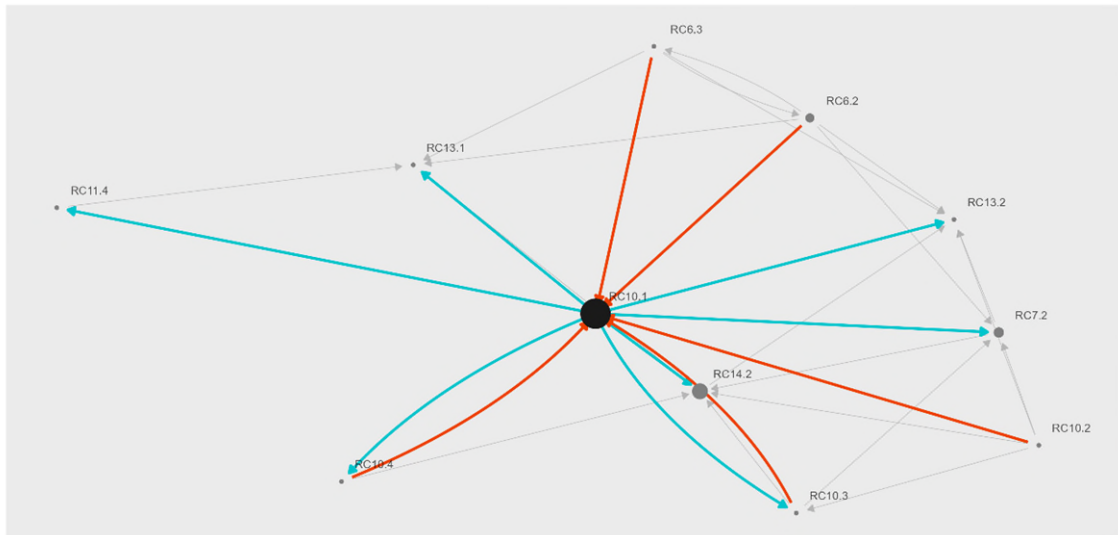


Figura 43 RC10.1

El *Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras)*¹⁷ (Figura 44) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 6.

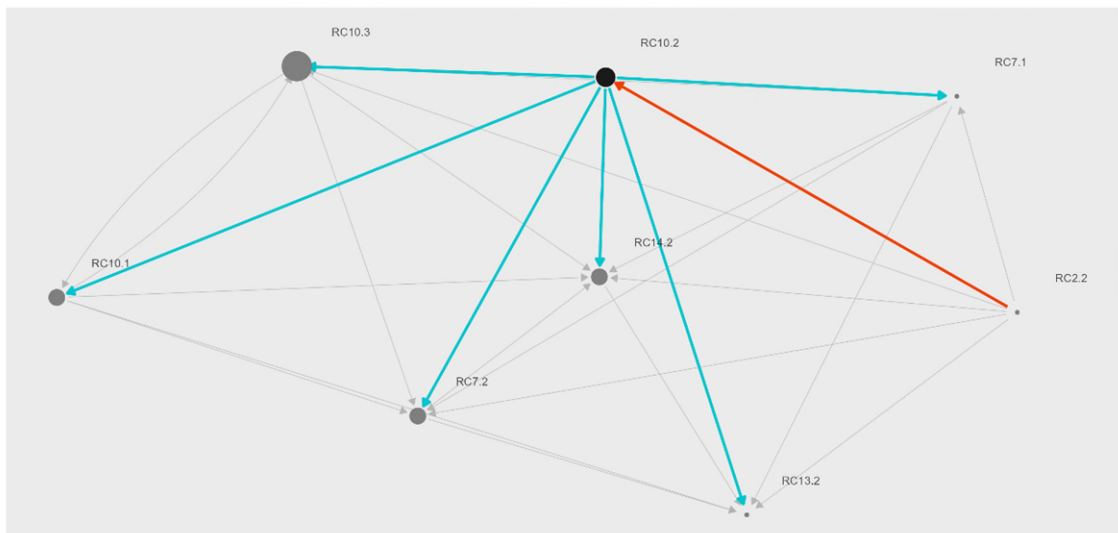


Figura 44 RC10.2

¹⁷ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.2 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, nieblas, incendios, nieve)*¹⁸ (Figura 45) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 3.

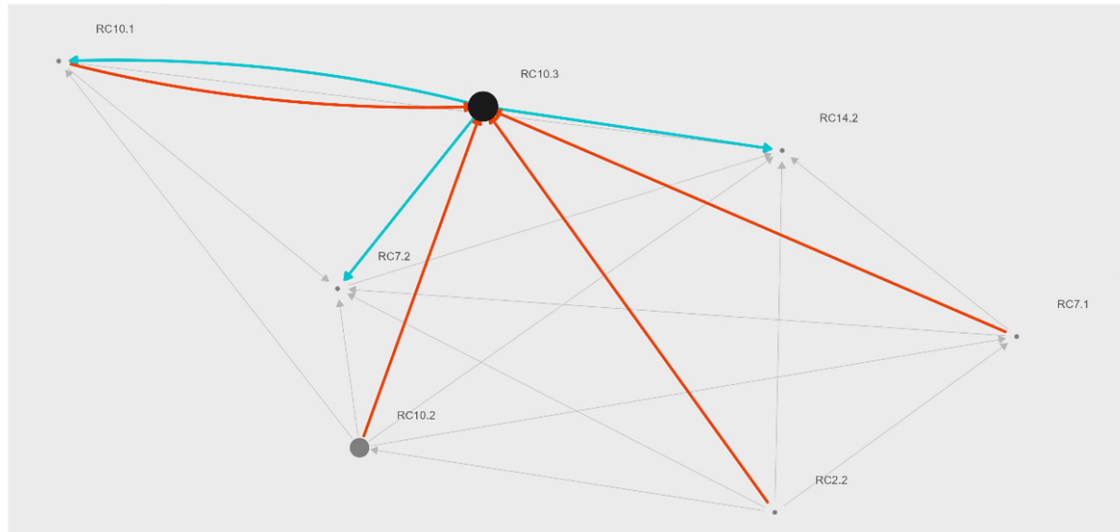


Figura 45 RC10.3

¹⁸ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.3 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (incendios, inundaciones fluviales, costeras, pluviales, precipitaciones intensas, incendios, nieve, hielo, vientos extremos)*¹⁹ (Figura 46) tiene grado de entrada 3 y grado de salida 2.

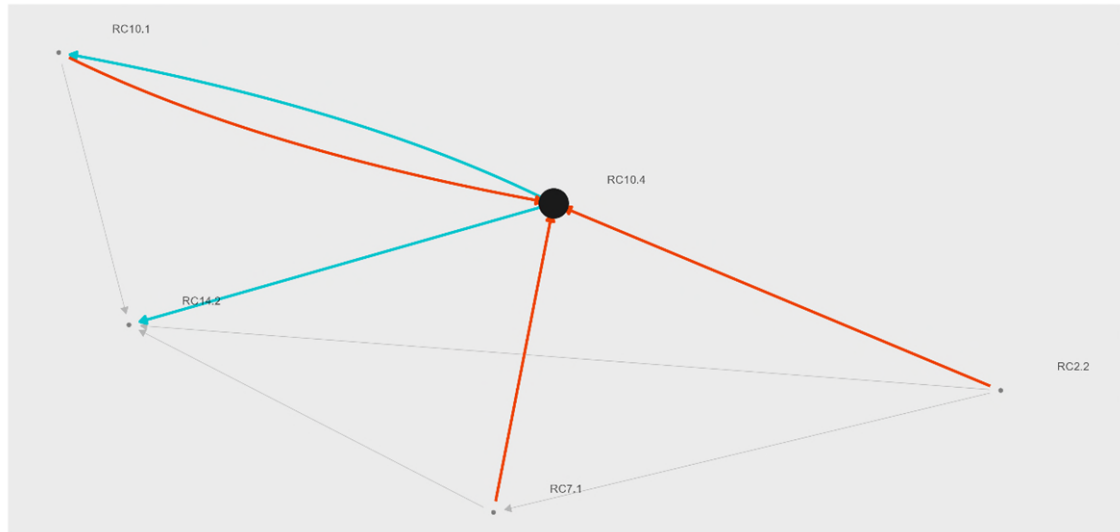


Figura 46 RC10.4

¹⁹ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.4 Riesgo de interrupción al transporte ferroviario debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

4.11 Industria y servicios

El *Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos* (Figura 47) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 7.

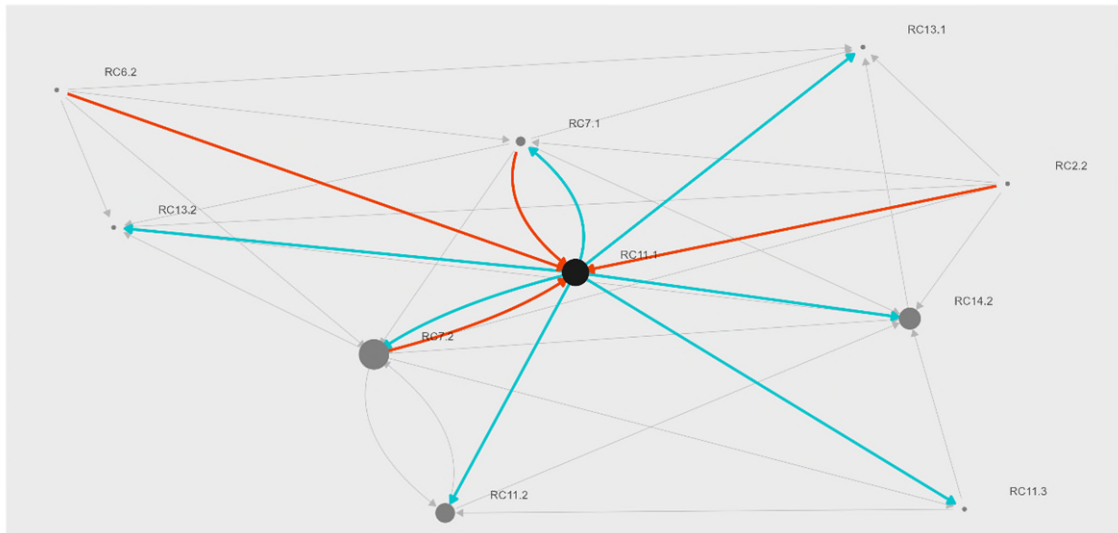


Figura 47 RC11.1

El Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico (Figura 48) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 3.

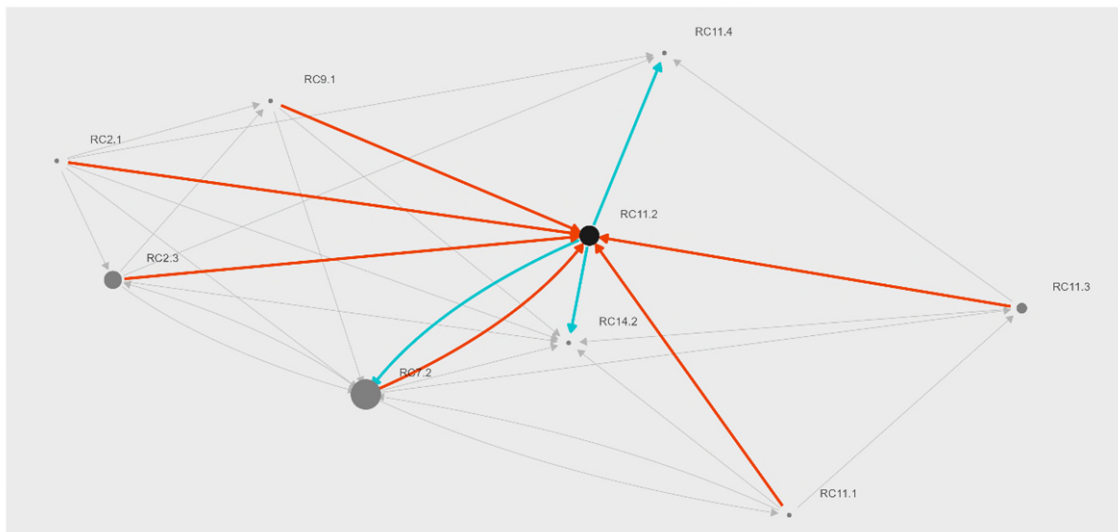


Figura 48 RC11.2

El *Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas* (Figura 49) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 3.

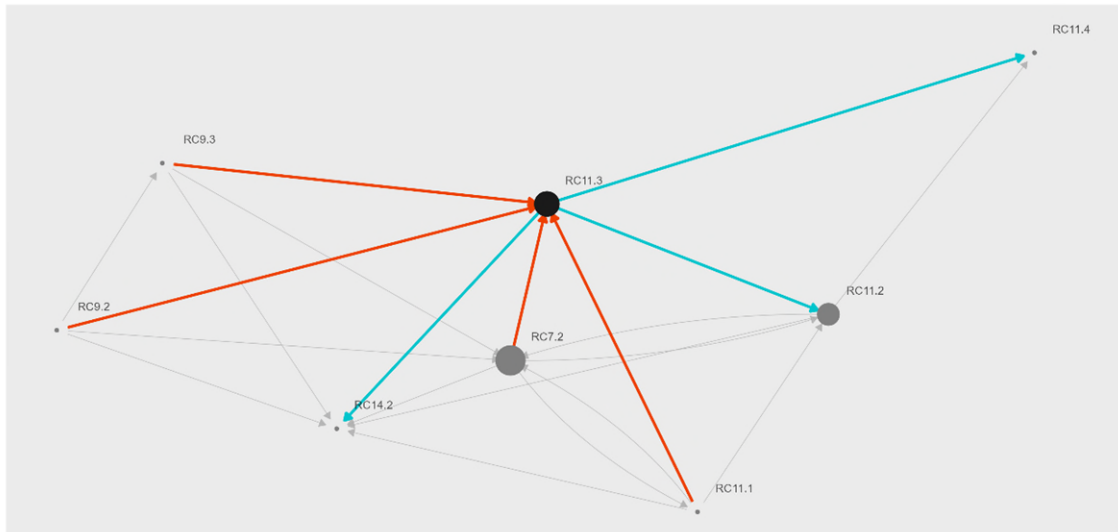


Figura 49 RC11.3

El *Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas (ganadería, agricultura, silvicultura, etc.)* (Figura 50) tiene grado de entrada 12 y grado de salida 5.

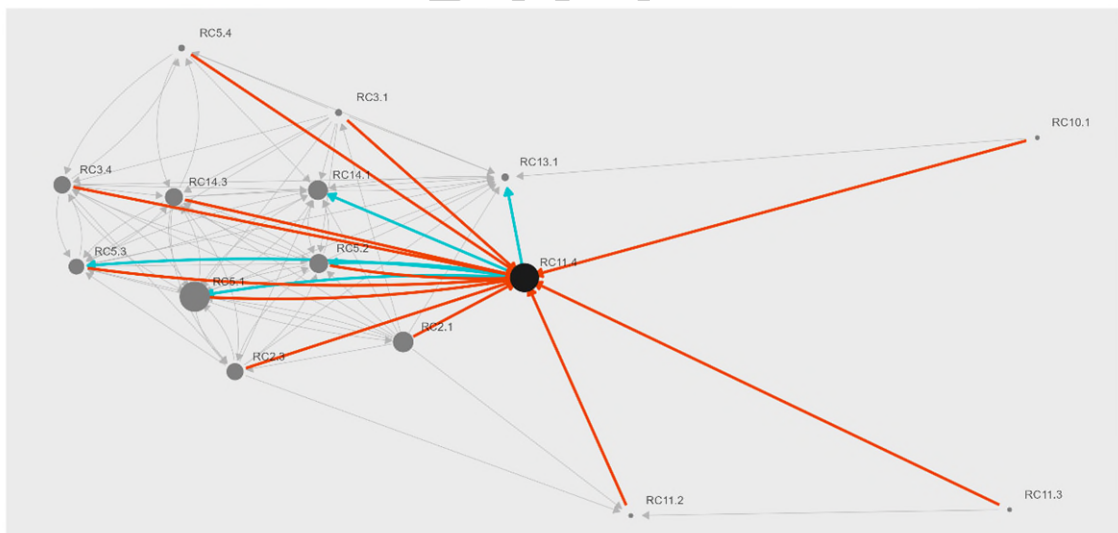


Figura 50 RC11.4

4.12 Turismo

El *Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort* (Figura 51) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 3.

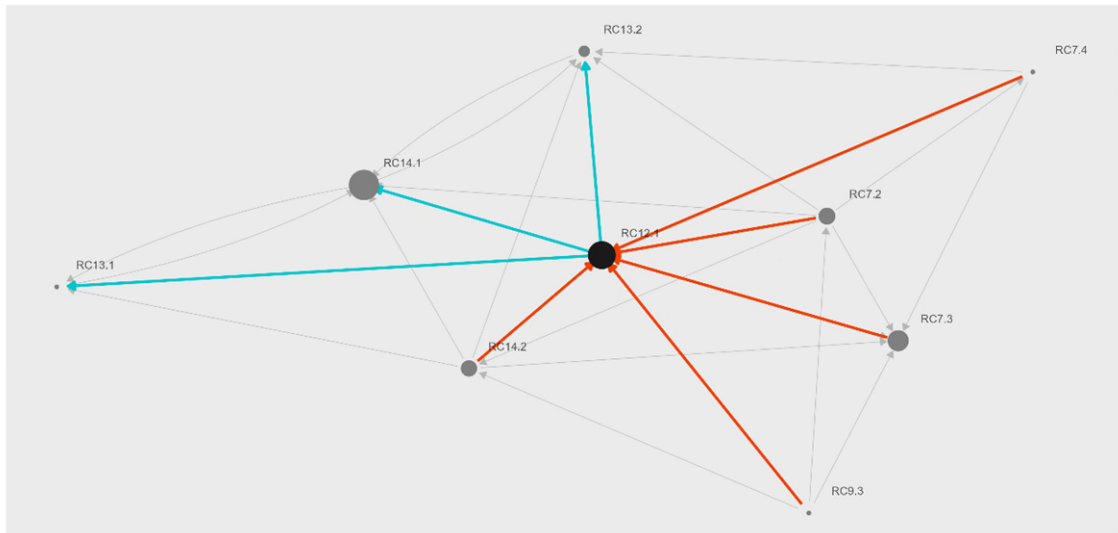


Figura 51 RC12.1

El *Riesgo de un aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos*²⁰ (Figura 52) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 1.

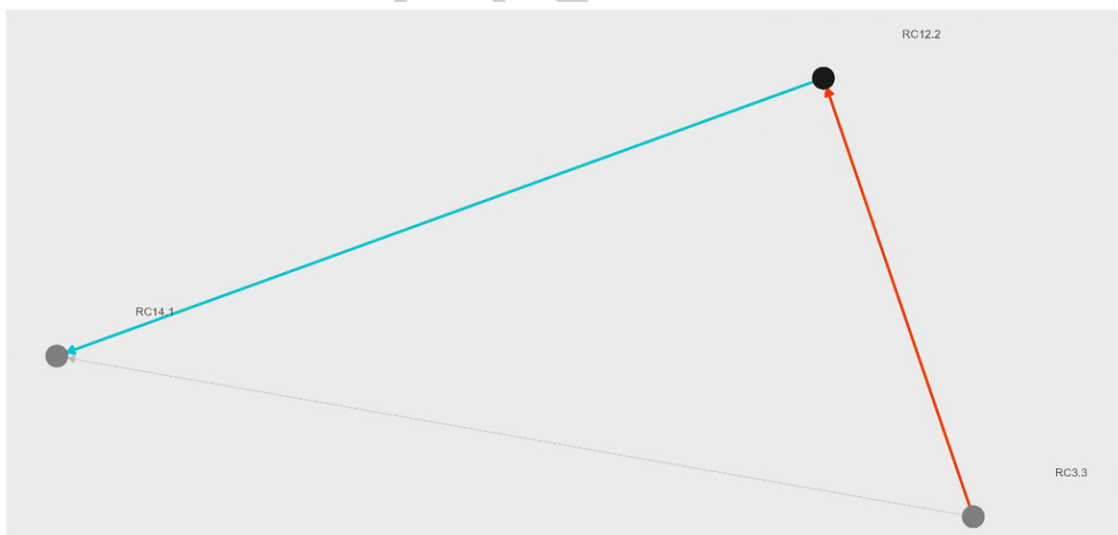


Figura 52 RC12.2

²⁰ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC12.2 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El *Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales*²¹ (Figura 53) tiene grado de entrada 14 y grado de salida 3.

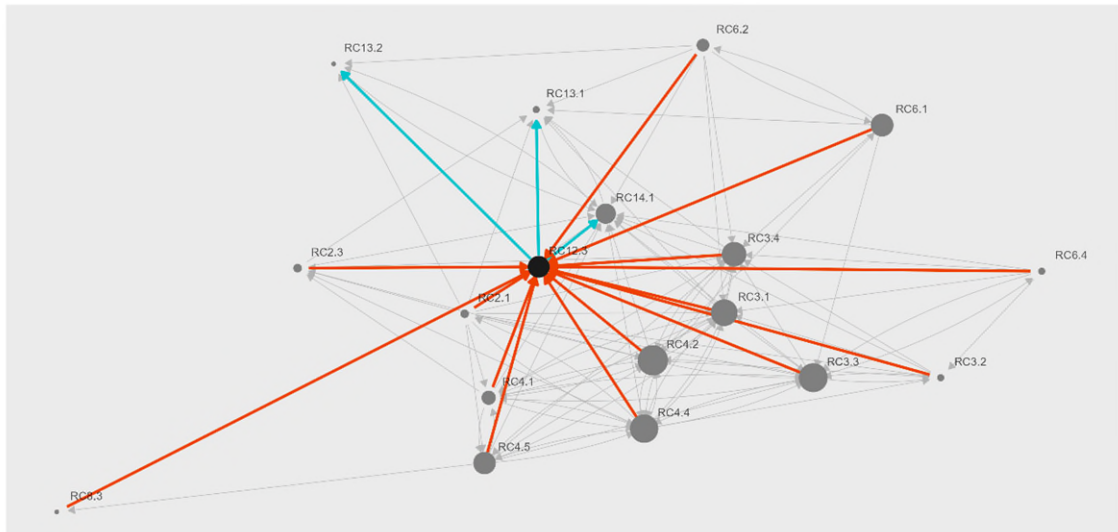


Figura 53 RC12.3

4.13 Sistema financiero y actividad aseguradora

El *Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático* (Figura 54) tiene grado de entrada 22 y grado de salida 1.

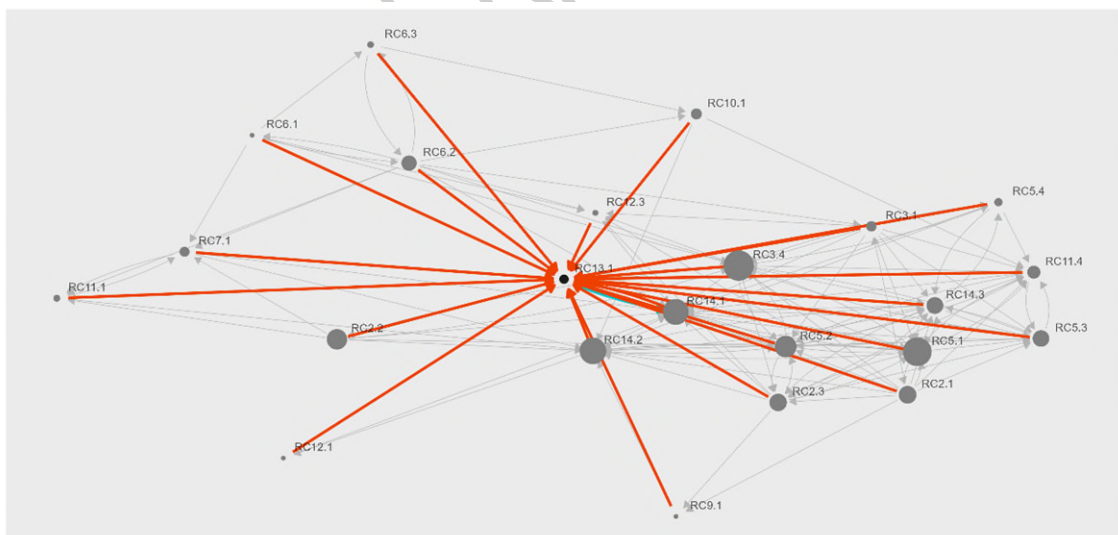


Figura 54 RC13.1

²¹ Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC12.3 Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

El Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático (Figura 55) tiene grado de entrada 19 y grado de salida 1.

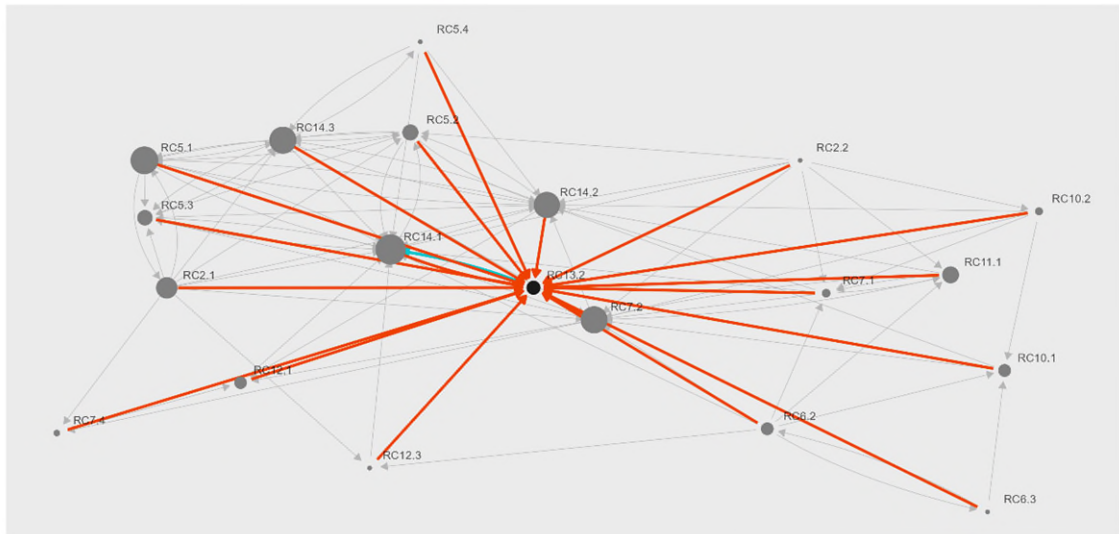


Figura 55 RC13.2

El Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez (Figura 56) tiene grado de entrada 8 y grado de salida 2.

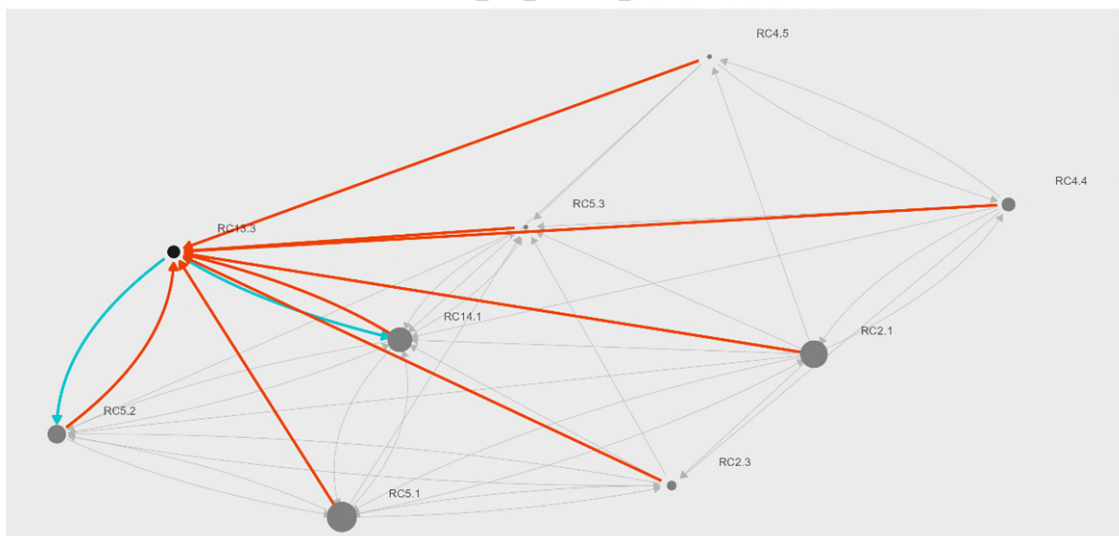


Figura 56 RC13.3

El *Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima*²² (Figura 57) tiene grado de entrada 13 y grado de salida 1.

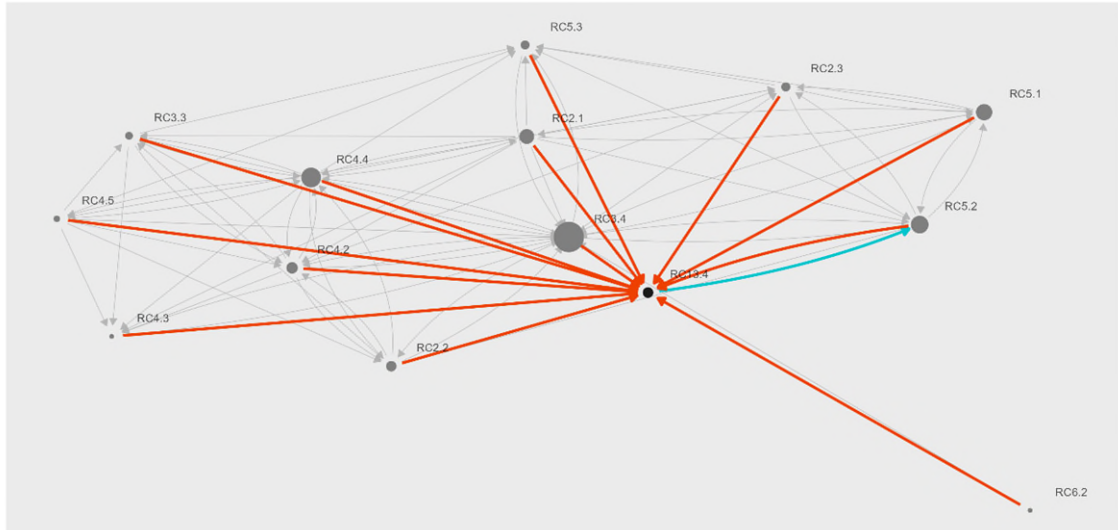


Figura 57 RC13.4

²² Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

5 CONCLUSIONES

Dado que se trata de un análisis de riesgos complejos que abarca una amplia variedad de riesgos pertenecientes a sectores muy diversos, resulta especialmente desafiante abordar de manera integral todas sus interacciones y particularidades. En este contexto, uno de los aspectos más relevantes a destacar es la elevada participación de agentes provenientes de distintos ámbitos. Esta diversidad de actores ha sido clave para asegurar la inclusión de múltiples perspectivas, lo que no solo enriquece el análisis, sino que también contribuye a fortalecer la validez y la robustez de los resultados obtenidos. La colaboración intersectorial permite capturar mejor las interdependencias entre riesgos y facilita la identificación de puntos críticos que podrían pasar desapercibidos en enfoques más fragmentados.

El análisis de los riesgos asociados al cambio climático desde una perspectiva de riesgos complejos, utilizando teoría de grafos, ha permitido obtener una visión estructural y relacional del sistema de riesgos. Los resultados señalan una red altamente interconectada, con densidades elevadas y diámetros reducidos. Esta configuración indica que los riesgos están fuertemente vinculados entre sí y que los efectos pueden propagarse con rapidez a través del sistema. La alta densidad sugiere una gran cantidad de relaciones entre los riesgos, mientras que el pequeño diámetro refleja que cualquier riesgo puede influir en otro con muy pocos pasos intermedios. Esta estructura refuerza la necesidad de adoptar enfoques de gestión integrados y sistémicos, que consideren no solo los riesgos individuales, sino también sus interacciones y efectos en cascada.

En cuanto a los nodos más influyentes, el análisis del grado de salida ha revelado que los riesgos del sector **Agua y recursos hídricos**, junto con los riesgos del sector **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas** y el sector **Forestal, desertificación, caza y pesca continental**, son los que tienen mayor capacidad de desencadenar otros riesgos de forma directa. Estos riesgos actúan como motores del sistema, generando impactos que se propagan hacia múltiples sectores. Su identificación es clave para priorizar medidas para reducir estos riesgos, ya que intervenir sobre ellos puede reducir significativamente la propagación de efectos negativos en el sistema.

Por otro lado, el análisis del grado de entrada ha permitido identificar los riesgos más dependientes, es decir, aquellos que se ven más afectados por otros. En este sentido, los riesgos de los sectores **Paz, seguridad y cohesión social**, **Sistema financiero y actividad aseguradora** y, en menor medida, **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas**, destacan por su alta exposición a influencias externas. Estos sectores no solo acumulan impactos, sino que también pueden amplificarlos si no se gestionan adecuadamente. Su vulnerabilidad estructural los convierte en puntos críticos para la resiliencia del sistema, y por tanto, deben ser objeto de especial atención en las estrategias de adaptación.

La métrica de cercanía ha puesto de manifiesto que los riesgos de los sectores **Agua y recursos hídricos**, **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas** y **Forestal, desertificación, caza y pesca continental** son los que más rápidamente pueden verse afectados por el resto del sistema. Su posición central en la red los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema de riesgos. Esta característica los hace especialmente relevantes para la detección temprana de crisis y para la implementación de respuestas rápidas y coordinadas.

Finalmente, el análisis de intermediación ha identificado a los riesgos de los sectores **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas**, **Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación**, **Paz, seguridad y cohesión social**, **Agua y recursos hídricos** y **Ciudad, urbanismo y edificación** como nodos clave en la propagación de efectos. Estos riesgos actúan como puentes entre diferentes partes del sistema, facilitando o bloqueando la transmisión de impactos. Su papel estructural los convierte en puntos estratégicos para intervenir y modular la dinámica del sistema. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de

adoptar una visión sistémica en la gestión del riesgo climático, priorizando aquellos nodos que, por su posición en la red, tienen un mayor potencial para influir en la estabilidad del conjunto.

Adicionalmente, el análisis de los riesgos complejos de forma particular permite informar las políticas y los agentes que estén interesados en un riesgo en concreto y quieran conocer qué riesgos les pueden afectar directamente o aquellos a los que pueden afectar. Esta información es a su vez de interés para los capítulos sectoriales y será un *input* para la determinación de la priorización de los riesgos clave.

Finalmente, al analizar los resultados de forma más detallada, observando las conexiones entre riesgos clave de manera individual, se evidencian diferencias significativas tanto en el número como en el tipo de relaciones directas que presentan. Algunos riesgos muestran una conectividad limitada, con pocas relaciones directas con otros nodos, mientras que otros presentan un número de conexiones considerablemente mayor. En cuanto al tipo de relaciones, también se observan patrones diversos: en ciertos casos predominan las relaciones de entrada, lo que indica una mayor dependencia de otros riesgos; en otros las relaciones de salida son más frecuentes, reflejando una mayor capacidad de influencia sobre el sistema. Finalmente, existen riesgos en los que se mantiene un equilibrio entre relaciones de entrada y salida, lo que sugiere una doble función como receptores e impulsores de impactos. Esta heterogeneidad en la estructura de relaciones refuerza la necesidad de un análisis diferenciado y contextualizado para cada riesgo, considerando no solo su posición en la red, sino también la naturaleza de sus vínculos con el resto del sistema.

VERSIÓN NO EDITADA