

Los fenómenos pluviométricos extremos en el escenario de cambio climático antropogénico en Galicia. Gestión de la incertidumbre

The extremed pluviometric phenomena in the anthropogenic climate change scenario in Galicia. Management of uncertainty

FRANCISCO CASTILLO RODRÍGUEZ

Consellería de Educación, Xunta de Galicia

pacocastillorodriguez@gmail.com

RESUMEN

Los riesgos vinculados al cambio climático derivados de episodios extremos, como olas de calor o eventos de precipitación extrema ya son considerados en los informes del IPCC como moderados (nivel de confianza alto) y altos, en caso de producirse un calentamiento adicional de 1°C. La abundancia y regularidad de las precipitaciones caracterizan la realidad climática gallega, aunque en el rango de variabilidad natural de este meteoro, se registran episodios excepcionales, bien por su baja frecuencia de aparición, bien por el volumen de agua precipitada. Las proyecciones regionales de los modelos predictivos apuntan a un posible incremento de fenómenos extremos de precipitación y de una mayor irregularidad de los aportes. Aunque, dada la propia naturaleza de este meteoro, estas proyecciones se mueven todavía en un grado de confianza bajo. En el presente trabajo, además de hacer balance de situación de estos posibles escenarios de cambio y las consecuencias que se deriven de él, también se reflexiona sobre la urgente necesidad de modificar las políticas medioambientales tanto a escala gallega como global.

Palabras clave: *Riesgos naturales, fenómenos meteorológicos extremos, cambio climático, Galicia, resiliencia.*

ABSTRACT

Risks linked to climate change derived from extreme events, such as heat waves or extreme precipitation events, are already considered in the IPCC reports as moderate (high confidence level) and high, in case of additional heating of 1° C. The abundance and regularity of the precipitations characterize the Galician climate reality, although in the range of natural variability of this meteor, exceptional episodes are recorded, either by their low frequency of appearance or by the volume of precipitated water. The regional projections of the predictive models point to a possible increase of extreme precipitation phenomena and a greater irregularity of the contributions. Although, given

the very nature of this meteor, these projections still move in a low degree of confidence. In this paper, in addition to assessing the situation of these possible scenarios of change and the consequences derived from it, we also reflect on the urgent need to modify environmental policies at both the Galician and global levels.

Keywords: *Natural hazards, extreme meteorological phenomena, climate change, Galicia, resilience.*

La Humanidad es un logro magnífico pero frágil
(*La Conquista social de la Tierra*, Edward O. Wilson, 2012)

“En las condiciones actuales, lo probable es lo catastrófico”
(Morin, E. y Viveret, P., 2011)

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos meteorológicos extremos dejan una huella indeleble en la historia de cualquier sociedad que los haya vivido, a pesar de que nuestra memoria meteorológica es limitada, quebradiza y proclive a la distorsión. Estos acontecimientos extraordinarios avivan como pocos la sensación de vulnerabilidad ante las fuerzas de la naturaleza. El imaginario colectivo envolvió en la bruma del mito estos eventos, otorgándoles enseguida un cariz transcendente. Así, leyendas, textos religiosos o relatos de la tradición oral de todos los pueblos del planeta han construido parte de sus cosmologías desde la fascinación y el temor provocado por meteoros violentos –lluvias torrenciales, tormentas, vientos huracanados–. Y cuando tales episodios llevan aparejados pérdidas materiales y humanas, se incorporan a la memoria trágica de la colectividad.

La falta de registros meteorológicos en tiempos remotos impide cotejar con todo el rigor científico tales eventos, aunque esto no impide valorar en su justa medida el eco que han dejado en la historia y en el comportamiento de nuestra especie. La investigación en climatología histórica, no sólo da cuenta de fenómenos anómalos (*Barriendos, 2002*) sino también, de cambios abruptos en el conjunto de las condiciones ya no meteorológicas, sino climáticas. Un ejemplo reciente y bien conocido, al menos en el hemisferio norte es la llamada “*Pequeña Edad del Hielo*” (*Alley, 2007*).

Vivimos en el fondo de un océano gaseoso animado en sus capas bajas por una increíble sucesión de procesos dinámicos que repercuten de manera directa en todas las formas de vida. El “*tiempo*”, término con el que aludimos a tales manifestaciones, siempre preocupó al ser humano, por cuanto condicionaba sus quehaceres cotidianos y, sobre todo, porque las labores agrícolas –base de las economías pre-industriales– dependieron durante siglos de las cambiantes condiciones meteorológicas. El riesgo, por tanto, está ligado a la propia existencia humana. Es ella la que lo establece. Etimológicamente el

vocablo alude a la “ruptura” de la normalidad y por tanto está estrechamente vinculado a la incertidumbre. La ciencia geográfica ha estudiado aquellos territorios expuestos -“territorios-riesgo”- (Hewitt, 1997; García-Tornel, 2001; Olcina, y Ayala-Carcedo, 2002), donde la sociedad es especialmente vulnerable a los peligros propios de las dinámicas naturales. En algún momento de nuestro reciente devenir histórico olvidamos una vieja y trascendental lección a este respecto, que no es otra que la de organizar nuestras actividades productivas y habitacionales en función de las condiciones ambientales del territorio ocupado. En él, los eventos extraordinarios fueron interpretados como limitaciones propias de la naturaleza que requerían ser comprendidas para saber adaptarse a ellas.

Hoy día empleamos el término “resiliencia” para caracterizar tales planteamientos frente a las dinámicas naturales (Walker *et al.*, 2004). La llegada de la modernidad trajo consigo el avance científico y el despegue tecnológico, empujándonos a una sociedad aparentemente capacitada para domeñar la naturaleza. La tozuda realidad demuestra el craso error de este planteamiento (Mac Harg, 2000). El mundo globalizado de nuestros días es un “mundo de riesgo” en el que las amenazas son a un tiempo, locales y globales. Algunos autores (Beck, 2002) incluso afirman que existe la “catastrófica posibilidad de que el progreso se torne en barbarie”. Y como señala magistralmente Giddens, A. (1990), “empezamos a preocuparnos menos sobre lo que la naturaleza puede hacernos y más sobre lo que hemos hecho a la naturaleza”.

El nivel de conocimiento que poseemos hoy día nos obliga como especie a desplegar medidas valientes, a la vez que eficaces, para alcanzar una adaptación y una mayor resiliencia frente al cambio global. Nos enfrentamos a desafíos enormes que reclaman soluciones audaces que superen un modelo de desarrollo mundial insostenible –con tal rotundidad se expresa en su último informe el Grupo de alto nivel de la Secretaría General de Naciones Unidas para la sostenibilidad mundial (2014). Hay que ser conscientes de que traspasar determinados umbrales críticos en el sistema climático nos aboca a una situación de no retorno. Y lo inquietante es que desconocemos en todos sus extremos cuáles son y cómo se comportan esos umbrales. Y por lo que respecta al objeto de este artículo, cabe señalar que existe cada vez mayor consenso sobre que el cambio climático se manifestará, entre otras, a través de un incremento de la intensidad y frecuencia de episodios adversos.

2. EL INMENSO RETO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN UN CONTEXTO DE UNA CRISIS ECOLÓGICA GLOBAL

Conviene recordar que las evidencias de un forzamiento antrópico en el sistema climático se enmarcan en la crisis socio-ecológica de escala planetaria en la que nos encontramos inmersos. Este “cambio global” deriva de unos sistemas productivos que dependen extraordinariamente de las fuentes de energía no renovables. De una economía insostenible e insolidaria que ha provocado ya una huella ecológica profunda. Es incues-

tionable que la quema acelerada de combustibles fósiles que trajo consigo la Revolución Industrial constituye un descabellado experimento geológico, que ha provocado la inyección en la atmósfera de ingentes cantidades de gases de efecto invernadero en un brevísimo lapso de tiempo. Las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido en primer lugar, a dichas emisiones y en segundo, a las derivadas del cambio de uso del suelo. Algunos autores sostienen incluso que el “traspaso del control del clima de manos de la naturaleza a manos del hombre se produjo hace varios miles de años (...). Antes de construir ciudades, antes de inventar la escritura ya estábamos alterando el clima. Estábamos cultivando”.(Ruddiman, 2005).

En la década de los sesenta del pasado siglo se celebró en la ciudad norteamericana de Boulder–Colorado, un Congreso sobre cambio climático en cuyas actas de conclusiones se puede leer lo siguiente: “Estamos delante de un sistema complejo, en equilibrio precario y que comienza a enseñarnos una inquietante capacidad para cambiar de manera espectacular por si mismo o por la acción coadyuvante de la acción antrópica y con mayor rapidez de la que ninguno imaginó”. (*Climate Change Congress, Boulder-Colorado, 1965*). Un aviso que apenas tuvo eco, más allá de la comunidad científica, a pesar de que se estaba dando la voz de alarma sobre uno de los grandes retos a los que se enfrenta la humanidad. Un desafío que se vislumbra a través de escenarios futuros realmente inquietantes, en los que los fenómenos extremos aumentarán su intensidad y frecuencia sometiendo a un estrés terrible al conjunto de los ecosistemas.

Desde aquel lejano 1965, los avances en investigación al amparo de diversos organismos internacionales como el IPCC, la NOAA, WMM, etc., han perfilado con nitidez la magnitud del problema. De modo que a día de hoy, no existen en términos científicos muchas dudas razonables respecto del “*forzamiento climático de gran duración e intensidad derivado de las actividades antrópicas*”. El grado de incertidumbre sobre los aspectos más trascendentes de los escenarios futuros barajados por el IPCC se reduce cada vez más gracias al ingente esfuerzo de investigación desplegado en los últimos decenios por la comunidad científica internacional. Ya el quinto informe del IPCC –*Climate Change: The Physical Science Basis. GTI*– se expresa, con un 95% de certeza, en los siguientes términos: “*el cambio climático es un hecho inequívoco y la actividad humana es la causa dominante del mismo desde mediados del siglo XX*”. Las posturas críticas que aún persisten manejan como principal argumento, la dificultad predictiva de los modelos climáticos, ya que todavía existen zonas de sombra en el conocimiento de aspectos básicos de la dinámica atmosférica o de los acoplamientos atmósfera-océanos, entre otros. Sin dejar de negar este aspecto, no es menos cierto, que en las últimas décadas todos los modelos climáticos apuntan la misma tendencia, que no es otra que la del incremento de temperatura del Planeta. Esta dificultad predictiva ya la conocemos. En efecto, la certeza absoluta no se alcanzará nunca por la propia naturaleza del sistema climático, claramente caótico-determinista. La incertidumbre, consustancial a la incapacidad predictiva de tales sistemas, contamina el complejo triángulo que se construye entre la ciencia, la política y la economía. Unos ámbitos que no han alcanzado el necesario punto de acuerdo respecto

a sus objetivos e intereses, moviéndose con frecuencia entre los extremos del dogma y el relativismo subjetivo. Lo que urge es imponer el principio de prevención en la toma de decisiones a escala mundial sobre el cambio global.

La pregunta que nos formulamos hoy frente a cualquier adverso climático de especial virulencia es la siguiente: ¿forma parte del rango de variabilidad propio de este sistema altamente inestable, o por el contrario es un síntoma más que añadir al cúmulo de evidencias de que el “*cambio climático inducido*” se manifiesta, precisamente, elevando la frecuencia y la intensidad de este tipo de adversos? Alcanzar una respuesta inequívoca, desde el rigor de las ciencias experimentales es muy difícil. Pero no es menos cierto que el tema admite –diría que exige– otra lectura de mayor calado, que trasciende el rígido mundo de la física atmosférica y oceánica. Y ésta no es otra que la que se deriva del “*principio de prudencia*” en nuestro comportamiento como especie. La decisión de adoptar medidas preventivas –todas ellas beneficiosas para el ecosistema global (reducción de emisión de gases de efecto invernadero, freno a la deforestación, freno a la acidificación oceánica, etc.)–, no necesita de confirmación científica alguna sobre el cambio climático antropogénico en todos sus extremos. Resulta urgente adoptar tales medidas que refuerzan la resiliencia de los ecosistemas, más allá de que el sistema climático –arquetipo del problema con sorpresas– (*Duplessy et al, 1993*), evolucione en una u otra dirección. Porque lo que no da pie a discusión es que, queramos o no, estamos en un período en el que nuestra especie ha alcanzado el estatus de fuerza condicionante de la evolución global del sistema. Algunos autores especulan con la idea de denominar este período con el nombre de Antropoceno para subrayar el impacto de las actividades humanas. Pero no olvidemos que, en última instancia, lo que pelagra es nuestra supervivencia como especie.

Ahondando en esta idea, en el año 2006, el economista británico Nicholas Stern hacía públicas las conclusiones de un informe elaborado junto a un equipo de expertos sobre los aspectos económicos del cambio climático. En dicho trabajo se afirma con total rotundidad que “*las pruebas científicas son hoy apabullantes: el cambio climático es una grave amenaza mundial y exige una respuesta global urgente (...) El cambio climático afectara a los elementos básicos de la vida de las personas de todo el mundo: el acceso al agua, la producción de alimentos, la salud y el medio ambiente*”. Pero lo más interesante de este estudio es la demoledora conclusión de que los costes y riesgos totales derivados del cambio climático, equivaldrían a una pérdida anual permanente de, al menos, un 5% del PIB mundial. Mientras que los costes de actuar –entre otros los derivados de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero– podrían limitarse hasta no superar el 1% del PIB. ¡Es rentable invertir en la lucha contra el cambio climático!. Pero el tiempo se nos agota. El año 2016 ha sido el más caluroso del que se tenga registro instrumental (*conclusión recogida en los informes respectivos del Instituto Goddard para Estudios Espaciales de la NASA y de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EEUU*). Por su parte, Naciones Unidas se hacía eco de los datos de la Organización Meteorológica Mundial –OMM– que señalaban que la temperatura del planeta habría aumentado en 1.2°C desde el período preindustrial hasta nuestros días. De modo que a

finales de 2016, 16 de los 17 años más calurosos registrados se han producido en el presente siglo. Y no olvidemos que el problema tiene una evidente lectura ética, puesto que todos los efectos que pudieran derivarse del cambio climático afectarán especialmente a los habitantes de los países más vulnerables. Ya estamos viviendo estos efectos, ya somos testigos de la existencia de “refugiados climáticos”. Por ello, como señalaba la investigadora *Lera St. Clair* (2010) “...*el cambio climático es más que un problema ambiental: es un problema social, un problema del desarrollo y un problema ético que está estrechamente vinculado con la seguridad de la humanidad*”.

Cuando hablamos de tiempo –o mejor de temperie– lo hacemos para referirnos a estados coyunturales de la atmósfera. Algunos autores incluso niegan la existencia del clima como realidad física, reduciéndolo al simple espectro de variabilidad atmosférica observada en un territorio durante un período de tiempo estadísticamente satisfactorio. Como apunta acertadamente *Toharia* (2006): “*el clima no puede medirse sino estimarse, porque no se trata de un concepto referido a una realidad física*”. No obstante, la atmósfera no es un sistema cerrado (sólo puede considerarse así a pequeña escala) sino que está íntimamente ligada a los otros subsistemas y componentes que integran el sistema climático. Y éste es de tal complejidad que difícilmente llegaremos algún día a entenderlo en todos sus extremos. Hay que concluir, en consecuencia, que la variabilidad –a cualquier escala espacio temporal– es el rasgo genuino del sistema climático.

En el marco de todas estas reflexiones queremos situar el presente artículo que se centra, precisamente, en uno de los aspectos más inquietantes que nos dibujan los escenarios de cambio climático para el presente siglo: el aumento de la vulnerabilidad derivada del probable incremento de la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos.

3. LA COMPLEJIDAD ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA CLIMÁTICO. VARIABILIDAD NATURAL, CAMBIOS ABRUPTOS EN EL SISTEMA Y FORZAMIENTO ANTROPOGÉNICO

El sistema climático en su conjunto está sujeto a variaciones en respuesta a las interacciones y feedbacks a distintos niveles de organización que se establecen entre sus componentes. Los cambios surgen de dicha evolución interna, o bien de “forzamientos” o “perturbaciones” externas. Cada subsistema integrante tiene una capacidad limitada para amortiguar los efectos de una perturbación, es lo que se conoce como “carga crítica”. En respuesta a aquellas perturbaciones que superan dicha carga crítica, el sistema global responde generando “anisotropía” o asimetría espacio-temporal que es la base de la “memoria” del sistema (*Martínez Cortizas*, 2000). Esta memoria se compone de “señales”, entendidas como toda propiedad observable que resulta de un cambio. El progresivo almacenamiento de estas señales convierte el sistema en un gran “archivo”. Es verdad que la atmósfera carece de memoria debido a su propia naturaleza, pero, afortunadamente,

los océanos y otros subsistemas sí tienen esos archivos naturales en los que se conservan registros de los principales cambios experimentados por el planeta. Los grandes avances en la reconstrucción paleoclimática (*Bond et al., 1992; Broecker, 1994; Bradley, 1999; Gornitz, 2009; Jones et al., 2009*) han revelado un hecho inquietante que merece poner sobre la mesa a la hora de conformar una idea cierta de la complejidad del fenómeno del cambio climático antropogénico. A saber, que en los últimos pocos millones de años el sistema climático ha experimentado “transiciones climáticas” en cortos períodos de tiempo –escalas de siglos, incluso décadas–. Baste recordar a modo de ejemplo, el cambio abrupto que se produce entre el Dryas reciente (frío) y el interglaciar Holoceno (cálido), acontecido hace tan sólo unos 11.000 años o la secuencia encadenada de episodios fríos (*eventos Heinrich*) y eventos cálidos o interstadales que podemos rastrear en los últimos 150.000 años. Estas evidencias nos llevan a concluir, que los cambios globales y regionales registrados en el planeta no han sucedido gradualmente a grandes escalas de tiempo, sino que se atisba una tendencia del clima a cambiar de forma relativamente repentina, al menos eso demuestran los estudios centrados en los últimos 150.000 años. Por tanto, cuando analizamos la incidencia de la actividad humana en el sistema climático debemos valorar en su justa medida este inquietante escenario, controlado por un patrón de variabilidad natural caracterizado por rápidos y bruscos cambios de estado (*Alley, 2000*).

El sistema climático tiene un carácter marcadamente caótico. Como afirmaba Eduard *Lorenz*, (1995) en su obra pionera “La esencia del caos”, la predicción del comportamiento futuro de un sistema caótico-determinista está, por definición, seriamente limitado. Por ello, no busquemos en los informes del IPCC predicciones robustas que certifiquen comportamientos futuros. Estos avances deben interpretarse como tendencias que consolidan un escenario absolutamente plausible. Lorenz señalaba en su obra que: *“desgraciadamente para la experimentación científica, aunque por fortuna para la humanidad; no podemos detener el avance del tiempo meteorológico y restablecer una pauta previamente observada para perturbarla ligeramente y comprobar con que rapidez difieren las condiciones atmosféricas resultantes de las observadas”*. Esta especial sensibilidad del sistema climático a las condiciones iniciales obliga a trabajar con “análogos”, una pauta meteorológica que se parece mucho a otra previamente observada. El problema es que todavía los análogos a escala global distan mucho de un nivel alto de similitud.

4. LOS FENÓMENOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL ATLÁNTICO NORTE. TELECONEXIONES Y PATRONES CIRCULATORIOS

El IPCC lleva tiempo instando a la comunidad científica a dirigir el foco del interés de sus investigaciones hacia la comprensión de la naturaleza y de la variabilidad de comportamiento de las teleconexiones. Unos patrones de variabilidad que, a todas luces, tienen una incidencia directa en la variabilidad climática a escala regional. El más conoci-

do y que más interés despierta para la realidad meteorológica gallega es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), un patrón que se manifiesta en superficie y en las capas altas de la troposfera y que, a su vez, está integrado en uno de mayor escala denominado Oscilación ártica (AO). Patrón que delata la disposición e intensidad del vórtice circumpolar. Numerosos estudios han demostrado la correlación significativa entre la variabilidad pluviométrica y termométrica peninsular y los índices que caracterizan tales patrones (*Barnston, et al., 1987, Thompson y Wallace, 1998, 2000; Martín Vide et al, 1999; Lorenzo, et al., 2010*). En una troposfera más cálida, el incremento en la variabilidad de la disposición circulatoria del vórtice será determinante para conocer la frecuencia y la distribución de las precipitaciones sobre la Península. En esta línea de investigación hay que encuadrar también los recientes avances en el conocimiento de los denominados “ríos atmosféricos” y su papel en los episodios de lluvia intensa (*Eiras-Barca, et al., 2014*): Unas estructuras filamentosas con elevada concentración de flujo de vapor de agua contenidas en las regiones pre-frontales de los frentes fríos, responsables del transporte meridional de humedad en las latitudes medias. En concreto, el pasillo sobre el Atlántico Norte con origen en el Golfo de México es “la principal fuente de agua precipitable para la región gallega a lo largo de todo el año” (*Drumond et al., 2011; Gimeno et al., 2014*). ¿Qué nos depara un Atlántico tropical más cálido y una troposfera con un incremento significativo de su capacidad de almacenar vapor de agua?. No olvidemos que los océanos son los grandes reguladores del sistema y una de las fuentes de variabilidad natural más importantes a escalas temporales largas. Diversos autores (*Lavers, et al., 2012*) han demostrado que existe una correlación de eventos de precipitación anómala con la presencia de dichos ríos atmosféricos. En el caso gallego, *Eiras-Barca et al. (2014)* establecen que el porcentaje de eventos de precipitación anómala ocurridos sobre nuestro territorio presenta una ratio de correlación muy elevada con la presencia de un río atmosférico.

Aceptemos como hipótesis que las proyecciones climáticas para las próximas décadas aciertan al estimar una mayor probabilidad de ocurrencia de adversos meteorológicos, tales como precipitaciones intensas, secuencias de sequías severas, rachas de viento destructivas, etc. A nadie se le escapa que un escenario de esta naturaleza nos aboca a una serie de graves consecuencias socioeconómicas y al riesgo de pérdidas de vidas humanas. Este aumento probable en la frecuencia de dichos fenómenos incrementará sustancialmente la vulnerabilidad de nuestras sociedades.

Europa ha experimentado en los últimos 30 años un aumento significativo de este tipo de fenómenos. El prestigioso centro Hadley de investigación climática afirmaba la década pasada que las fuertes tormentas invernales han experimentado un significativo incremento. Una tendencia que, según dicha institución, continuará en las próximas décadas (*Climate Change: Observations and Predictions, 2003*). Algunos ejemplos recientes serían las olas de calor o secuencias de sequía en el sur del continente, frente a las rigurosas olas de frío que han azotado a los países del norte; así como inundaciones desastrosas en las Islas Británicas, Italia o Alemania.

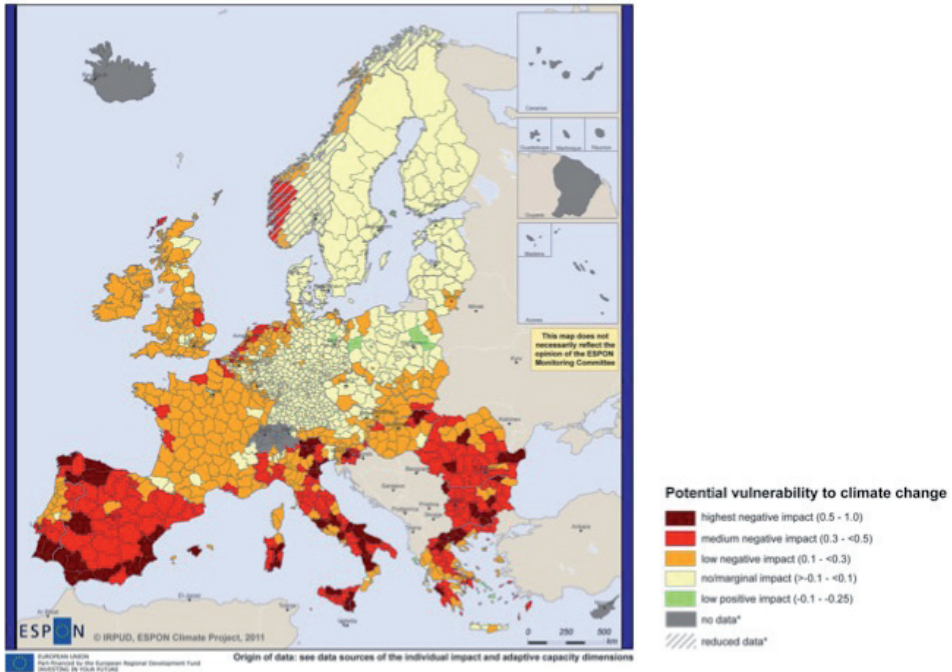


Figura 1. Mapa EPSON.

En el año 2005, la Red Europea de Observación sobre Cohesión y Desarrollo Territoriales publicaba un informe sobre riesgos naturales y tecnológicos en Europa, en el que se incluía un riguroso inventario de los peligros de causa natural y antrópica en el viejo continente. En dicho informe se utilizaba con acierto el criterio de “vulnerabilidad” para delimitar el grado de exposición de los territorios europeos. Una vulnerabilidad que se estableció a partir de variables tales como el valor del PIB, de la densidad demográfica, de la cartografía de las áreas y territorios especialmente expuestos –*fragmented natural áreas*– y, finalmente, de la capacidad de respuesta de los estados ante un desastre de cualquier índole. FUENTE: Red Europea de Observación sobre Cohesión y Desarrollo Territoriales (ESPON, 2005).

5. PROYECCIONES SOBRE LA PRECIPITACIÓN PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA

Las proyecciones climáticas que se obtienen de los modelos climáticos globales muestran que a lo largo del siglo XXI, se producirá un incremento uniforme de la temperatura en la Península Ibérica y una probable disminución de la precipitación, aunque el grado de probabilidad en esta última variable es sensiblemente bajo. Los valores apuntan a una tendencia media de aumento de 0,4 °C/década en invierno y de 0,7 °C/década en verano para el escenario menos favorable -A2 del IPCC-, y de 0,4 °C y 0,6 °C/década, respectivamente, para el escenario más favorable -B2 del IPCC- (Vid.: Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2016).

Por lo que respecta a las precipitaciones, como decíamos, la fiabilidad se resiente ya que las tendencias no son, por lo general, uniformes y los diferentes modelos ofrecen discrepancias significativas. No obstante, todos ellos coinciden al menos en un dato: el aumento de la variabilidad interanual (Moreno, 2005; Ayala-Carcedo, 2004). Esta situación nos llevaría a una mayor incertidumbre en los aportes con la consiguiente dificultad de la gestión hídrica, en un país, donde el problema del agua ya es de una enorme importancia. Unos cambios que implicarían también un aumento de la frecuencia de episodios de lluvias de naturaleza torrencial, con primaveras y veranos más secos y cálidos. Quedan, no obstante, muchas dudas por despejar a nivel de dinámica atmosférica en una troposfera más energética, con un extra de calor latente y por tanto, con mayor capacidad de contener vapor de agua; precisamente el combustible que alimenta a tormentas y situaciones extremas de lluvia. Como los fenómenos meteorológicos extraordinarios son escasos, por su propia naturaleza, se tardará todavía un tiempo en acumular los datos suficientes para detectar tendencias con una clara significación estadística.

En cualquier caso, lo que no admite dudas es que, según los sucesivos informes del Consorcio de Compensación de Seguros (2015), las lluvias abundantes o torrenciales, con efectos de inundación en cuenca son los peligros naturales más importantes por su frecuencia y, sobre todo, por sus efectos socio-económicos y territoriales. Una importancia que crecerá previsiblemente si se produce un aumento de la variabilidad temporal de la escorrentía por efecto del cambio climático. En segundo lugar, en las estadísticas del Consorcio aparecen las secuencias de sequía –otra manifestación de la irregularidad y estrés hídrico–. Por tanto, se concluye que los peligros de génesis meteorológica son la causa principal de las pérdidas de vidas humanas y de los daños económicos que se registran anualmente en España. Baste recordar a modo de ejemplo que para el período 1971-2014 casi el 29% de las víctimas mortales por fenómenos naturales en nuestro país son por causa de inundaciones, seguido de los fallecidos en tierra por causa de temporales marítimos con un 21%. (Vid.: *Estadística de Riesgos extraordinarios, serie 1971-2014, -Consorcio de Compensación de Seguros, 2015*).

Mas allá de las tendencias que puedan extraerse a partir de modelos predictivos, lo cierto es que diversos estudios realizados sobre las series normalizadas de registros de precipitación en la Península Ibérica, muestran un aumento del índice de estacionalidad pluviométrica y de los coeficientes de ETP (Ayala-Carcedo e Iglesias, 2000; Ayala-Carcedo, 2004). Estos datos son coherentes con esa inquietante tendencia (aún no demostrada en términos estadísticos) a la intensificación de sucesos extremos en los aportes hídricos. De hecho, los períodos de retorno de los eventos pluviométricos extremos ya están disminuyendo, según atestiguan diversos estudios estadísticos (Brunet et al., 2006; Cruz et al., 2009). Para el caso del territorio gallego, estos resultados no son directamente aplicables, por lo que se requiere un estudio individualizado para el noroeste peninsular (Lago et al., 2006).

TABLA 1. Número de expedientes, indemnizaciones y costes medios (€) por año por siniestro de inundación en España desde el 2000. Fuente: Estadística riesgos extraordinarios. Serie 1971-2014. Consorcio de Compensación de Seguros (2015)

AÑO	Nº de Expedientes	Indemnizaciones	Costes Medios
2000	4	708.723	177.181
2001	2	40.450	20.225
2002	2	101.629	50.814
2003	1	45.490	45.490
2004	1	29.948	29.948
2005	2	21.111	10.555
2006	3	48.409	16.136
2007	4	103.185	25.796
2008	1	3.259	3.259
2009	6	142.017	23.670
2010	5	152.202	30.440
2011	5	69.063	13.813
2012	13	304.985	23.460
2013	6	261.139	43.523
2014	1	7.245	7.245

TABLA 2. Número de expedientes, indemnizaciones y costes medios (€) por año por siniestro tempestad ciclónica atípica en España desde el 2000. Fuente: Estadística riesgos extraordinarios. Serie 1971-2014. Consorcio de Compensación de Seguros (2015)

AÑO	Nº de Expedientes	Indemnizaciones	Costes Medios
2001	6.891	33.226.307	4.822
2002			
2003	3.829	16.438.609	4.293
2004	6.197	19.410.105	3.132
2005	16.024	89.378.839	5.578
2006	3.331	15.339.030	4.605
2007	10.131	56.994.569	5.626
2008	3.305	15.385.105	4.655
2009	270.185	559.045.439	2.069
2010	89.197	136.986.001	1.536
2011	2.796	4.134.387	1.479
2012	7.713	17.834.079	2.312
2013	43.362	54.961.600	1.268
2014	12.666	25.944.448	2.048

6. LA PRECIPITACIÓN EN GALICIA. VULNERABILIDADES, ¿HACIA UNA MEDITERRANEIZACIÓN?

Galicia se localiza en una franja de transición entre los dominios atlánticos y los ambientes climáticos meseteños. Un tránsito que propicia un variado mosaico de matices derivados, en última instancia, de una compleja morfología que propicia la existencia de ambientes climáticos diferenciados. Precisamente, en trabajos anteriores hemos insistido en el marcado carácter orográfico de la precipitación en Galicia (*Castillo, 2000, 2002*). Un territorio enormemente articulado con una disposición de sus relieves que favorece la influencia oceánica hacia el interior a través de sus singulares rías. Unas geoformas perfectamente orientadas a los flujos del tercer y cuarto cuadrante, lo que facilita la penetración de los sistemas nubosos de origen atlántico hasta el interior de la región; donde los obstáculos orográficos los someterán a ascensos sucesivos, desde las estribaciones de las sierras centrales hasta las cumbres de los relieves lucenses y ourensanos

Así, la abundancia y regularidad de las precipitaciones caracterizan la realidad climática gallega. Los datos así lo indican. El índice de concentración diaria de la precipitación (*Benhamrouche y Martín Vide, 2012*) arroja los valores más bajos de la Península, precisamente, en las estaciones costeras gallegas. Lo que indica una elevada regularidad temporal de la precipitación. Sin embargo, hay que recordar que la precipitación es la variable meteorológica más difícil de modelizar, dado su amplio rango de variabilidad tanto espacial como temporal (*Castillo, 2000*). Galicia es un territorio que dispone de un excedente hídrico anual superior a los 450 mm. Este positivo balance es fruto, en buena medida, de las precipitaciones recogidas en el período otoño-invierno. En él se roza el 70% del volumen total anual registrado en nuestro territorio (*Castillo et al., 2006*). Pero estos datos del balance hídrico no deben llevarnos a engaño y pensar que la estacionalidad pluviométrica –es decir, la tendencia a la concentración de los aportes– no forman parte de nuestra realidad climática. Diversos estudios (*Martínez, A y Castillo, F, 1996*) han puesto de relieve que, en términos de contribución estacional, Galicia es muy estable, con unos otoños e inviernos de tendencia húmeda o muy húmeda y primaveras y veranos de tendencia subseca o seca. No obstante, más de las dos terceras partes de la demanda hídrica tiene lugar durante los meses de abril a septiembre, en los cuales, precisamente, apenas si se recoge un tercio de la precipitación total anual. Además, es necesario apuntar que en el semestre otoño-invierno, periodo de mayor contribución hídrica, es posible registrar un déficit acusado de precipitación. Esta anomalía pluviométrica repercute seriamente en los balances y propicia un “desajuste” del régimen anual de lluvias (*Martínez y Pérez, 2000*). El análisis de la serie de anomalías de precipitación anual en la estación de Lourizán –Pontevedra con respecto a la media de 1955-2002 apuntaba a un aumento de anomalías positivas a partir de la década de los 80 en episodios agrupados (*Lage y Salsón, 2006*). Un ejemplo, que no establece tendencia, pero que si resulta elocuente del grado de incertidumbre, sería la antagónica secuencia que se inicia con el extraordinario período de lluvias del otoño-invierno del 2000. Una serie de registros que superaron en muchas

estaciones sus efemérides (*Castillo y Pérez, 2002*) y que se vio seguido, sin solución de continuidad, por un episodio de escasez de lluvias justo en el otoño siguiente.

Si las proyecciones derivadas de los modelos predictivos se cumplen la regularidad en la distribución espacio-temporal se resentirá, dando paso a una mayor estacionalidad anual. Un escenario plausible que se completaría con un incremento significativo de episodios extraordinarios de lluvia que contribuirán a elevar la estacionalidad en el reparto y a desdibujar el mapa de precipitación sobre Galicia que hoy conocemos. Algunos autores (*Lago et al., 2006*) señalan para las series de estaciones gallegas, una ausencia de tendencia en la precipitación anual, pero sí en la estacional, en la que parece deducirse un posible cambio en la distribución a lo largo del año, con otoños más lluviosos e inviernos menos húmedos, debido principalmente al descenso observado en el mes de febrero.

Aunque, insistimos que tales modelos todavía se mueven en una horquilla de incertidumbre lo suficientemente amplia como para asumir como probable este escenario (*Martínez de la Torre et al., 2009*). Pero no es menos cierto, que esta debilidad predictiva, no invalida la conclusión de incrementar las medidas de mitigación y resiliencia que precisaría una situación futura basada en la gestión de la incertidumbre.

7. ADVERSOS PLUVIOMÉTRICOS. EL BINOMIO INTENSIDAD-DURACIÓN

Dentro del variado conjunto de episodios lluviosos que se suceden a lo largo del año en nuestra Comunidad, podemos distinguir algunos calificables de excepcionales, bien por su baja frecuencia de aparición, bien por la magnitud de las cantidades de lluvia recogidas. Estos episodios “anómalos que se integran en el rango de variabilidad propia de nuestro espacio geográfico, adquieren la categoría de “riesgo climático” cuando las actividades antrópicas interfieren en las dinámicas de escorrentía del medio natural, cuando no son abiertamente contrarias a ellas. Estas actitudes humanas arriesgadas en función del desconocimiento o menosprecio del entorno físico en el que se llevan a cabo son el objeto prioritario de la geografía de riesgos. La aproximación al fenómeno pluviométrico desde el análisis de riesgos requiere manejar dos parámetros esenciales, que son la intensidad y la duración de los episodios de lluvia, pues de ellos depende en primera instancia, el comportamiento de la escorrentía.

La precipitación diaria media varía entre los 5 lm^2 y los 20 lm^2 y muestra una buena relación estadística con la duración del evento lluvioso, (coeficiente de correlación 0.87 (*Martínez y Castillo, 1996*)). Esta relación se interpreta como una tendencia a la estabilización de la intensidad de la lluvia a partir de períodos con una duración superior a las dos semanas. En cualquier caso, esta afirmación constituye una simplificación del fenómeno pluviométrico, el cual acontece a ritmos más irregulares y con grandes variaciones en las cantidades diarias aportadas a medida que evolucionan las condiciones de la dinámica atmosférica.

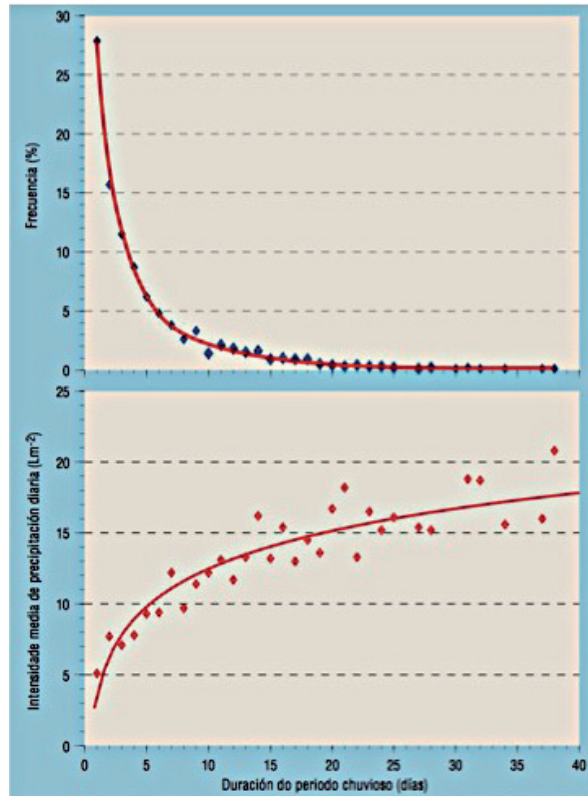
A pesar de la frecuencia de la precipitación en la fachada atlántica de Galicia y de una cierta homogeneidad en los dispositivos circulatorios implicados, las series de registros muestran períodos de elevada cuantía de precipitación. Estos volúmenes extraordinarios pueden responder, bien a una alta intensidad pluviométrica en períodos cortos, bien a una prolongada secuencia de días de lluvia que acumula una cantidad superior a los valores normales considerados para las estaciones de referencia. Nos referimos a eventos con una duración entre 4 y 15 días y a una precipitación diaria media de al menos 1.5 veces superior a la esperada para la época y el área considerada. Empleando estos criterios, los eventos de elevada precipitación alcanzan el 10% de las secuencias de días lluviosos, con una aportación media acumulada de 190 lm^2 . Enero es el mes con mayor número de eventos de esta naturaleza, siendo el primer trimestre del año el que tiene una mayor frecuencia de registro con un 40.8% (Castillo y Pérez, 2002).

Las situaciones sinópticas implicadas en secuencias de elevada precipitación son configuraciones béricas altamente inestables, caracterizadas por acusados ahondamientos en forma de vaguadas –vorticidad ciclónica– instalados sobre la vertical de Galicia. En tales casos, si nuestras tierras se ven afectadas de modo directo por el ramal ascendente de la vaguada –el sector de mayor advección y vorticidad negativa– su eficacia pluviométrica se ve incrementada. Los datos sobre la eficacia pluviométrica de estas configuraciones atmosféricas nos dejan resquicio a la duda. La frecuencia de precipitación es muy superior al 90%, con unos registros diarios medios que oscilan entre los 15 y 22 mm, según la zona considerada. Cabe destacar en este breve repaso, el amplio conjunto de situaciones tipificadas como advectivas del suroeste –CSW–. El campo bérico superficial refleja acusados gradientes y sistemas frontales activos ligados a vaguadas y embolsamientos fríos en altura –500hPa y 300 hPa–. La frecuencia de días en los que se registra precipitación bajo tales dispositivos se eleva por encima del 94% en el entorno de las Rías Bajas (el porcentaje es sensiblemente menor en los observatorios de la mariña lucense, donde no alcanza el 75%). Y con una precipitación diaria media que se aproxima a los 30 mm, umbral que se considera de referencia para declarar la excepcionalidad del evento.

7.1. Secuencias de elevada precipitación. El ejemplo significativo del otoño-invierno 2000-2001

Durante el período comprendido entre octubre de 2000 y marzo de 2001, numerosos observatorios gallegos alcanzaron valores extraordinarios, por encima de los valores medios estimados y superando en algunos casos sus efemérides de lluvia. Así, a modo de ejemplo, señalar que en la estación de Estacas en Fornelos de Montes -Pontevedra (42° 19'N; 8° 23' W; 759 m) en los cinco primeros del 2001 la lluvia acumulada era ya de 3326.1 mm.

Figura 2. Frecuencia de los períodos de lluvia de duración creciente y relación entre “intensidad media diaria” y duración del período de lluvias. Registro de la estación meteorológica de Lourizán-Pontevedra para los últimos 40 años. Fuente: Atlas climático de Galicia (2000)



El dispositivo circulatorio que provocó esta situación extraordinaria se caracterizó por un importante descenso de la altura geopotencial en el Atlántico nororiental, a la vez que se registraba un incremento de los valores del campo bórico sobre Europa central, Escandinavia, Rusia y el océano Ártico (Naranjo et al., 2002). Este escenario altamente inestable, se tradujo en ciclogénesis activa con la formación de numerosos centros depresionarios, que afectaron al noroeste peninsular a través de sus sistemas frontales asociados. La coincidencia temporal de valores bajos del índice NAO y del patrón EU-2 propició la llegada de sucesivos trenes de borrascas atlánticas. El vórtice se expandió latitudinalmente, reduciendo su velocidad, lo que dio pie a que las vaguadas atlánticas afectasen por su ramal ascendente a las costas gallegas. Esta configuración hemisférica se tradujo a escala regional, en una importante actividad ciclogénica. Así, las áreas de máxima captación pluviométrica de nuestra región alcanzaron valores extraordinarios. Finalmente, volvemos a insistir en que estos patrones atmosféricos están ligados a las anomalías de la temperatura de la superficie oceánica registradas en ese período (Rodríguez Puebla, C. et al., 1999)

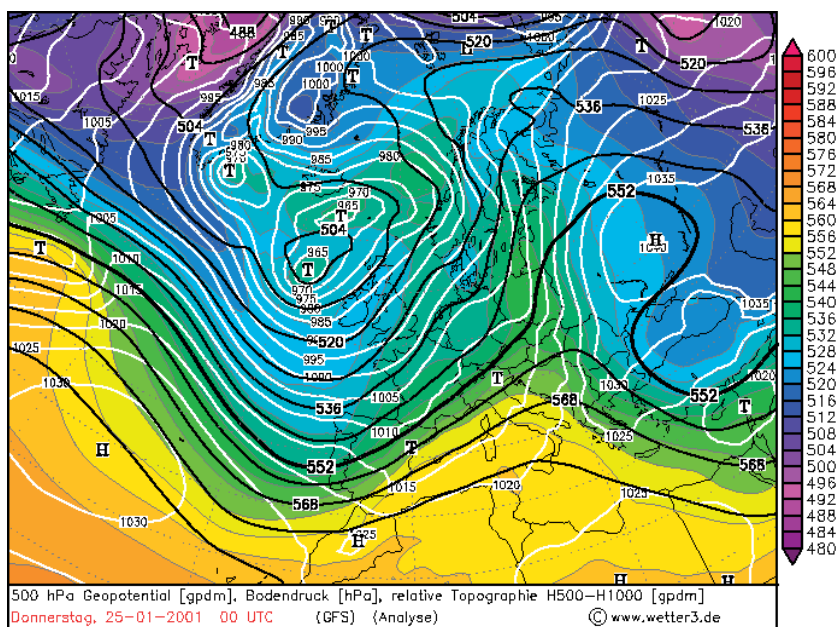


Figura 3. Topografía alta geopotencial de los 500 hPa correspondiente al 25 de enero de 2001. Fuente: www.wetterzentrale.de

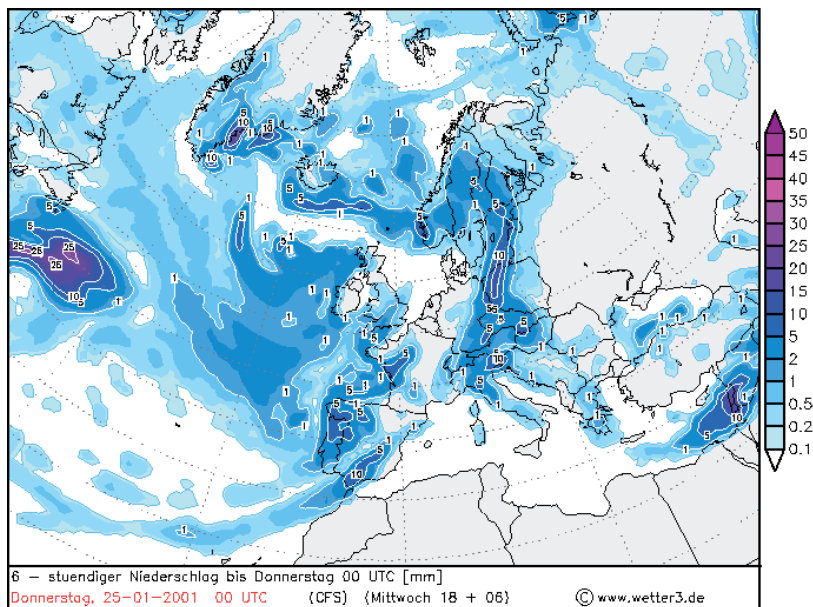


Figura 4. Modelo numérico de predicción de precipitación acumulada en 6 horas para el 25 de enero de 2001. Fuente: www.wetterzentrale.de

7.2. Algunos ejemplos de eventos extraordinarios.

La mediática Ciclogénesis explosiva

En la memoria de muchos gallegos se conserva el recuerdo del ciclón Hortensia que azotó la costa gallega los primeros días del mes de octubre de 1984. En esas jornadas, un ciclón de latitudes tropicales comenzaba a describir un caprichoso recorrido sobre el Atlántico norte hasta quedar absorbido por el flujo circulatorio zonal de poniente de latitudes medias, transformándose en una activa borrasca. Los registros de la época recogen valores superiores a los 40 mm diarios de promedio y rachas de viento que superaban los 150 km/h en diversos puntos del litoral noroccidental.

En todo caso, el record de precipitación en 24 horas, dentro de las estaciones principales de la red de AEMET son los 218 mm recogidos el 14 de octubre de 1987 en Santiago de Compostela (*Sánchez González et al, 2014*). Durante ese período, el campo bórico estaba dominado por una extensa área depresionaria, con el eje del vórtice muy por debajo de sus latitudes habituales, lo que favoreció el tránsito de un rosario de borrascas especialmente activas.

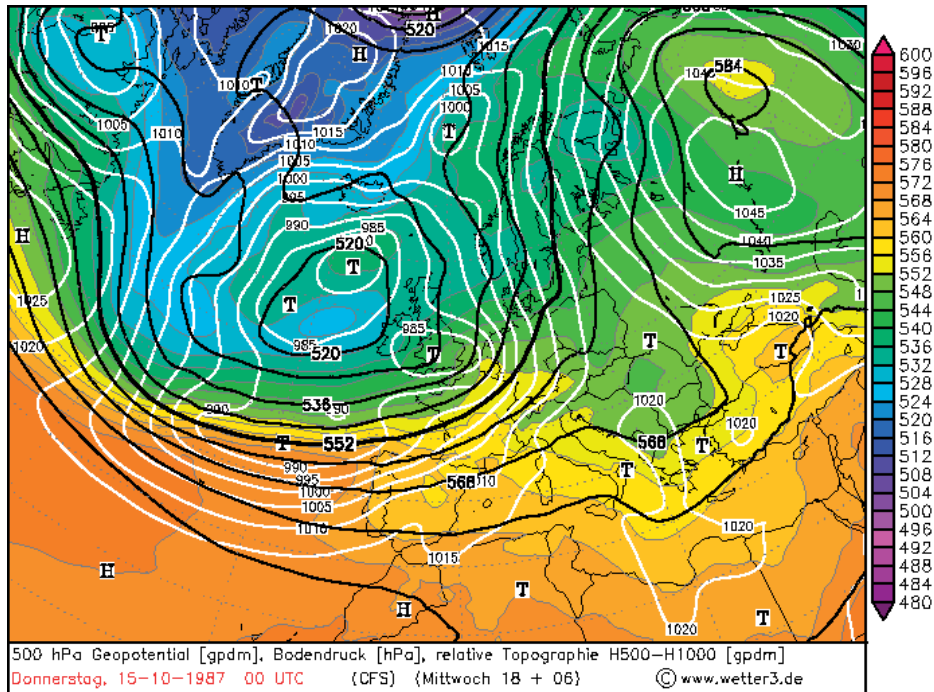


Figura 5. Topografía alta geopotencial de los 500 hPa correspondiente al 15 de octubre de 1987. Fuente: www.wetterzentrale.de

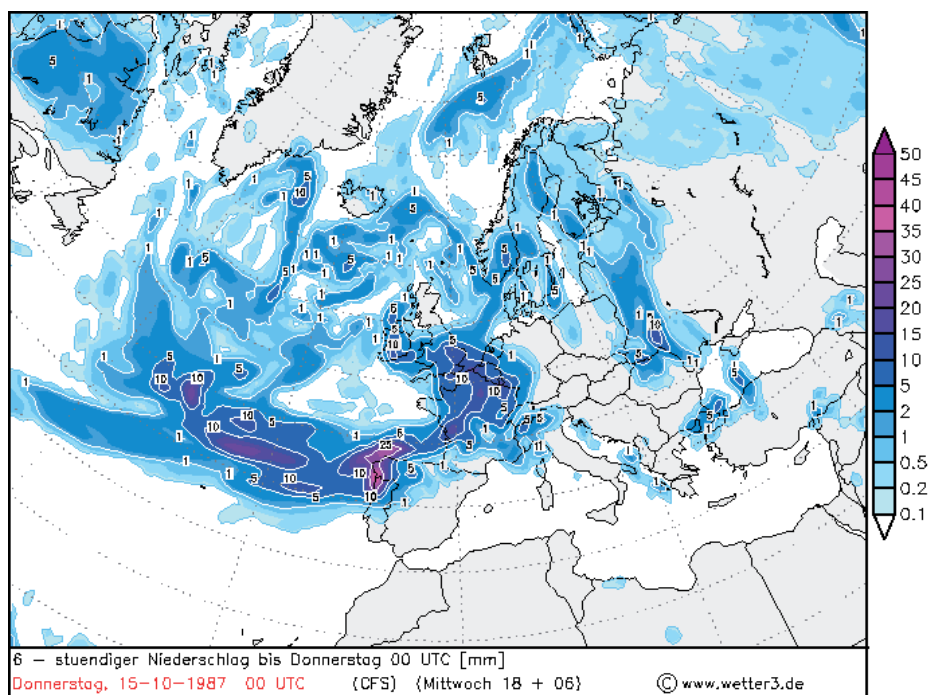


Figura 6. Modelo numérico de predicción de precipitación acumulada en 6 horas para el 15 de octubre de 1987. Fuente: www.wetterzentrale.de

En los últimos tiempos, un término propio de la ciencia climática se popularizó a través de los medios de comunicación: la ciclogénesis explosiva. Éste es un proceso violento de escala sinóptica que se produce con relativa frecuencia en latitudes medias. Un fenómeno que se asocia a profundizaciones de borrascas en superficie sobre zonas oceánicas abiertas del Atlántico Norte. Estos procesos de profundización de bajas presiones se realizan en ocasiones de forma súbita y explosiva, de tal manera que la baja en superficie se profundiza en 24-48 horas, otorgándole el carácter explosivo al proceso de ciclogénesis. En estas condiciones, el tiempo en superficie es muy adverso en la zona afectada. Afortunadamente, muchas de ellas se desarrollan en el mar, pero otras pueden hacerlo en zonas habitadas del litoral, e incluso afectando a zonas de interior. En algunas ocasiones, los efectos directos de lejanas borrascas muy profundas se dejan sentir a grandes distancias. Más de una vez se han sentido en Galicia olas de 5-7 m., generadas por borrascas intensas y explosivas que se han desarrollado en ámbitos distantes del Atlántico Norte. Galicia ha sufrido este tipo de fenómenos en fechas recientes.

Durante el año 2010 los valores del índice de la Oscilación Ártica –AO– alcanzaron mínimos históricos, estableciendo un patrón circulatorio caracterizado por una acusada

circulación meridiana que implicó un descenso latitudinal en la trayectoria del tren de borrascas atlánticas. Este descenso en bloque del jet stream estableció una amplia zona de inestabilidad baroclínica, dando pie a una inusual actividad ciclogénica. En este contexto circulatorio regional, durante los días 24-28 de Febrero de 2010, una intensa borrasca extratropical se gestó al oeste de los archipiélagos de Azores y Canarias, sufriendo un proceso de “ciclogénesis explosiva”, gracias a una intensa profundización en un breve lapso de tiempo. Un proceso que se inició gracias a la interacción con una vaguada en altura (*González Cillero, 2010*). Precisamente, un elemento precursor muy importante en este tipo de desarrollos explosivos lo constituye el hundimiento de la tropopausa y la entrada de aire estratosférico en niveles inferiores, lo que, entre otros aspectos, confiere al sistema una gran vorticidad potencial. Esta borrasca o ciclón extra-tropical se bautizó con el nombre de “Xynthia”. En la estación de Lardeira (1620 m de altitud) en Carballada de Valdeorras se alcanzaron esos días los 196 km/h y en casi una decena de estaciones de la red de Meteogalicia se superaron los 140 km/h. Una situación similar ya había acontecido unos días antes -13-14 de enero de 2010- con la borrasca Floora. Y en enero del año anterior la depresión Klaus azotaba nuestras costas con efectos similares.

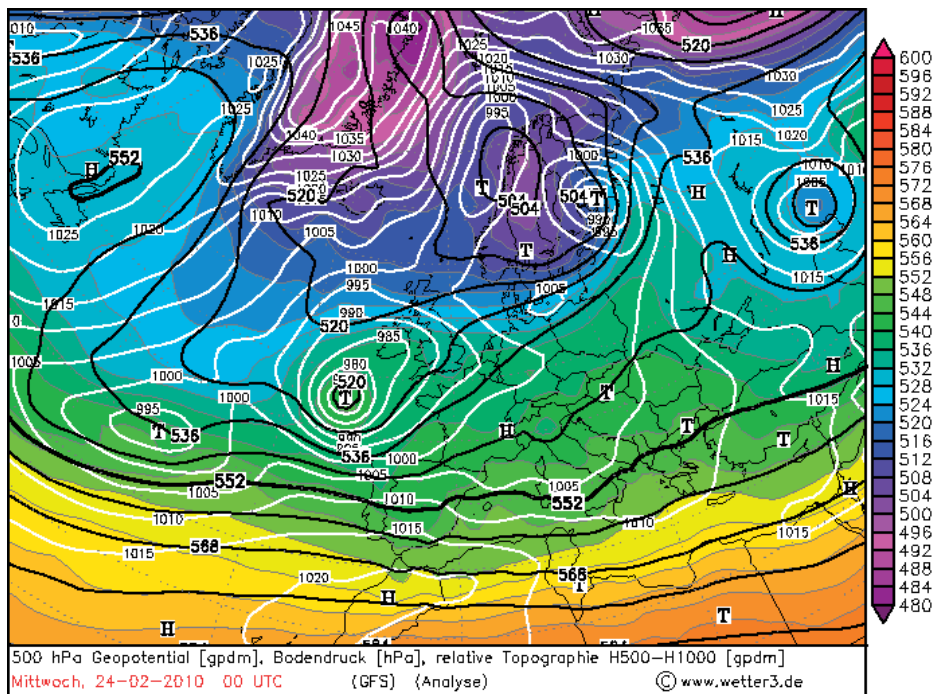


Figura 7. Topografía altura geopotencial de los 500 hPa correspondiente al 24 de febrero 2010. Fuente: www.wetterzentrale.de

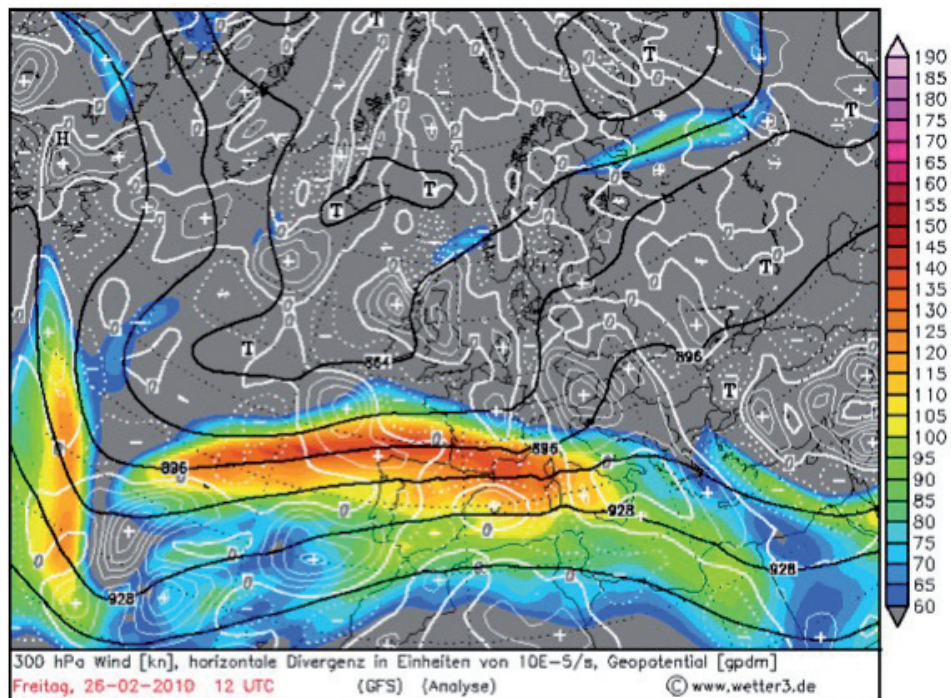


Figura 8. Análisis del campo de vientos (en nudos) y divergencia a 300 hPa según el GFS. Viernes 26 de febrero de 2010. 12 UTC. Fuente: <http://www.wetter3.de/Archiv/>

8. CONCLUSIONES

En el caso de Galicia, un probable incremento de la variabilidad temporal por efecto del cambio climático, elevará el estrés hídrico y podría provocar una intensificación de los contrastes espaciales a largo plazo. El mapa de la precipitación podría experimentar en las próximas décadas un reajuste significativo, con una sobreexposición del escenario de las Rías Baixas, el espacio con mayores aportes y gradiente pluviométrico, gracias a su alta exposición a los flujos del tercer y cuarto cuadrante. La complejidad de las formas del relieve, con un papel determinante en el reparto de la precipitación, invita a precisar a través de estudios de simulación, cuál será el mapa pluviométrico que se derive de una troposfera más energética, un océano más cálido y una variabilidad mayor en la estacionalidad pluviométrica, con el objeto de delimitar aquellos territorios que pudieran quedar más expuestos dentro del espacio gallego.

En este sentido, las zonas costeras, que concentran buena parte de la población gallega, son las más vulnerables a un posible incremento de fenómenos adversos. El aumento en la frecuencia de la “marea meteorológica”, es decir, de la variación del nivel del

mar inducida por fenómenos atmosféricos –presión y viento-, eleva la exposición de las zonas costeras. No olvidemos que las regiones urbanas gallegas más importantes se sitúan en el litoral. El posible incremento de temporales y eventos adversos sobre la costa provocaría serios perjuicios en su morfología, descensos de la superficie de playa seca útil y, por tanto, una reducción de la defensa natural de la costa. Efectos que serían importantes en los procesos de transporte de sedimentos implicados en la viabilidad de los arenales y que derivarían en alteraciones de diversa índole en los sistemas dunares. Capítulo aparte sería el evaluar los múltiples perjuicios económicos y pérdidas de equipamientos y bienes. Y por último, téngase en cuenta que las proyecciones de subida del nivel del mar por expansión térmica nos llevaría a un aumento de la cota de inundación. Entre los trabajos desarrollados dentro del proyecto del Plan de Ordenación del Litoral de Galicia (*Decreto 20/2011 de 10 de febrero*), cabe destacar el pionero trazado de la denominada “línea de dinámica litoral”, basado en los resultados y la experiencia de trabajo del profesor *Pérez Alberti* (2012, 2013) sobre las modificaciones de la costa gallega. Una línea roja a la que en las décadas venideras, habrá que volver para reconocer que la prudencia en las políticas de ordenación territorial nunca es suficiente.

Finalmente, nos gustaría cerrar este apartado de conclusiones recordando que la gestión de la incertidumbre impone un cambio de paradigma. Resulta esencial comenzar a recorrer el camino de la “resiliencia local” ante los desafíos futuros (*Cabinet Office, 2011*). Una estrategia basada en un “decrecimiento consciente” capaz de simplificar nuestro metabolismo sociocultural (*Adger, 2003*). Debemos acomodar nuestras necesidades a los límites de la naturaleza, adaptando las formas de uso y explotación del planeta desde una perspectiva resiliente, más justa y solidaria.

BIBLIOGRAFÍA

- ADGER, A. (2003): Building resilience to promote sustainability: an agenda for coping with globalization and promoting justice. In IHDP Update, nº 2, págs. 1-3.
- ALLAN, R.P., SODEN, B.J. (2008): Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. In *Science* 321:1481–1484.
- ALLEY, R.B. (2000): *The two-mile time machine. Ice Cores, Abrupt climate change, and our future.* Princeton University Press. New Jersey.
- ALLEY, R.B. (2007): *El cambio climático. Pasado y futuro.* Ed. Siglo XXI. Madrid.
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J.M., GÁMIZ-FORTIS, S.R., ESTEBAN-PARRA, M.J., CASTRO-DÍEZ, Y. (2012): High-resolution projections of mean and extreme precipitation over Spain using the WRF model (2070–2099 versus 1970–1999). In *Journal Geophys Res* 117:D12108.
- AYALA-CARCEDO, F.J. y OLCINA CANTOS, J. (Coords.) (2002): *Riesgos naturales.* Ed. Ariel. Barcelona.
- AYALA-CARCEDO, F.J. (2004): La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. En [http://www.meteored.com/ram/número 2.](http://www.meteored.com/ram/número%202)
- BARNSTON, A. G. y LIVEZEY, R.E. (1987): Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- BARRIENDOS, M. (2002): Los riesgos climáticos a través de la historia: avances en el estudio de episodios atmosféricos extraordinario. En AYALA-CARCEDO, F. J. y OLCINA, J.: *Riesgos naturales*, Ariel, Barcelona, 2002, cap. 31, pp. 549-562.
- BECK, U. (2002) *La sociedad del riego global.* Madrid, Edit. Siglo XXI.
- BENHAMROUCHE, A. Y MARTÍN VIDE, J.(2012): Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía*, nº 32, 1, 11-27.
- BLANCO CHAO, R.; MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; PÉREZ ALBERTI, A.; CASTILLO RODRÍGUEZ, F. (1997): Relieve costero, dinámica atmosférica y gradientes pluviométricos en el noroeste peninsular. En *Dinámica litoral-interior: Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles.* Vol. 1, pp. 137-156.
- CABALAR FUENTES, M. (2005): Los temporales de lluvia y viento en Galicia. Propuesta de clasificación y análisis de tendencias (1961-2001). En *Investigaciones Geográficas*, nº 36, pp. 103-118.
- CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (2001): *Sociedades y Territorios en Riesgo.* Ediciones Del Serbal.
- CARDOSO, R.M., SOARES, PMM, MIRANDA PMA, BELO-PEREIRA M (2013): WRF high resolution simulation of Iberian mean and extreme precipitation climate. In *Int. Journal Climatology*, 33:2591-2608.

- CASTILLO RODRÍGUEZ, F. y PÉREZ ALBERTI, A. (2002): Episodios de elevada precipitación en el semestre otoño-invierno del 2000-2001 en Galicia y procesos geomorfológicos derivados. *Xeográfica*, 2002, n1 2, pp. 5-33.
- CHRISTENSEN, O.B., CHRISTENSEN, J.H. (2004): Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. In *Global and Planetary Change*. 44, 107-117.
- DUPLESSY, J.C. ET AL., (1993): *Temporal sobre el planeta*. Ed. Acento. Madrid.
- EASTERLING, D. R.; MEEHL, G. A.; PARMESAN, C., CHANGNON, S. A.; KARL, T. R. and MEARN, L. O. (2000): Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science*, Vol. 289, 22 september 2000, 2068-2074.
- EIRAS-BARCA ET AL. (2014): Impacto Meteorológico de los Ríos Atmosféricos en las Precipitaciones Anómalas de Galicia. *ACT* 5, 10-22,
- FREI, C., SCHOLL, R., FUKUTOME, S., SCHMIDLI, J., VIDALE, P.L. (2006): Future change of precipitation extremes in Europe: intercomparison of scenarios from regional climate models. In *Journal Geophys Res* 111. D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- GARCÍA_LEGAZ MARTÍNEZ, C. Y VALERO RODRÍGUEZ, F. (2013) *Fenómenos meteorológicos adversos en España*. AMV Ediciones. Madrid.
- GARCÍA MARTÍNEZ, E. y MARTÍ EZPELETA, A. (2000): Riesgos climáticos en Galicia: una aproximación a través de la prensa (1983-1997). *Ería*, 2000, n1 53, p. 259-270.
- GIDDENS, A. (1990): *The Consequences of Modernity*, Cambridge, Polity Press.
- GIMENO, L, NIETO R., TRIGO R.M., VICENTE-SERRANO S.M. AND LOPEZ-MORENO J.I. (2010) Where Does the Iberian Peninsula Moisture Come From? An Answer Based on a Lagrangian Approach. In *Journ. Hydrom.* 11, 421-436.
- GIMENO, L., NIETO, R., VÁZQUEZ, M. and LAVERS D.A. (2014): Atmospheric Rivers: a mini-review. *Frontiers in Earth Science*. 2, 2.
- GONZÁLEZ CILLERO, J.P. (2010): *Ciclogénesis explosiva II: El ciclón extratropical Xynthia, 25-28 de febrero de 201º*. Informe Dpto. Predicción Operativa. Meteorología. Santiago de Compostela.
- GORNITZ, V. (2009): *Encyclopedia of Paleoclimatology and ancient environments*. Springer, Dordrecht (The Netherlands).
- GUARÍN, D. y TABOADA, J.J. (2010): Influencia de los diferentes patrones de teleconexión en el Atlántico Norte sobre la lluvia y precipitación en Galicia (NO España). *Guarin y Taboada, ACT* 1, 81-94.
- HEWWIT, K. (1997): *Regions of Risk. A geographical introduction to disasters*. Ed. Longman. England.
- JONES, P.D., BRIFFA, K.R., OSBORN, T.J., LOUGH, J.M., VAN OMMEN, T.D., VINTHER, B.M., LUTHERBACHER, J., WAHL, E. R., ZWIERS, F.W., MANN, M.E., SCHMIDT, G.A., AMMANN, C. M., BUCKLEY, B.M., COBB, K.M., ESPER, J., GOOSSE, H., GRAHAM, N., JANSEN, E., KIEFER, T., KULL, C.,

- KUETTEL, M., MOSLEY-THOMPSON, E., OVERPECK, J.T., RIEDWYL, N., SCHULZ, M., TUDHOPE, A.W., VILLALBA, R., WANNER, H., WOLFF, E., XOPLAKI, E. (2009): High resolution palaeoclimatology of the last millenium: a review of current status and future prospects, *The Holocene*, 19, 3–49, doi: 10.1177/0959683608098952.
- LAGO, A., LAGE, A., CRUZ, R. y PÉREZ-MUÑUZURI, V. (2006): Estudio das variacións de temperatura e precipitación en Galicia nos últimos trinta anos no contexto do cambio climático global. En *Revista Real Academia Galega das Ciencias*. Vol XXV, pp-27-57
- LAVERS, D.A., VILLARINI, G., ALLAN, R.P., WOOD, E.F. y WADE, A.J. (2012): The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation. *J. Geoph. Res. Atmospheres*. 117, D20.
- LERA ST. CLAIR, A. (2010): “La necesidad de una visión integral del cambio climático”. En *Mundo siglo XXI. Revista del Centro de Investigaciones Económicas y Sociales*. Nº 23. México
- NARANJO, L. y PÉREZ MUÑUZURI, V. (Coords.) (2006): A variabilidade natural do clima en Galicia. Xunta de Galicia.
- LORENZO, M.N., I. IGLESIAS, J.J. TABOADA Y GÓMEZ-GESTEIRA, M. (2010): Relationship between monthly rainfall in NW Iberian Peninsula and North Atlantic sea surface temperature. *International Journal of Climatology* 30, 980-990
- MC HARG, I.L. (2000): *Proyectar con la naturaleza*. Ed. Gustavo-Gili. Barcelona.
- MARTÍ EZPELETA, A. y GARCÍA MARTÍNEZ, E. (2002): Caracterización y repercusiones socioeconómicas de los temporales de lluvia y viento del anómalo invierno 2000-2001 en Galicia. *Xeográfica*, 2002, n12, p. 59-85.
- MARTÍN VIDE, J.; et al. (1999): “Potencialidad del índice NAO en la previsión de episodios de alta pluviometría en España”. *Gerencia de Riesgos Nº67*, pp 19-29. Fundación Mapfre. Madrid.
- MARTÍN VIDE, J. (2002): Las lluvias máximas diarias. In AYALA-CARCEDO, F.J. y OLCINA CANTOS, J. (Coords.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel, 2002, p. 913-920.
- MARTÍNEZ CONDE, R. ET AL. (2000): Las inundaciones recientes en Galicia. *Serie Geográfica*, 2000, n1 9, p. 187-210.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. y CASTILLO RODRÍGUEZ, F., PÉREZ ALBERTI, A. (1994): Factores que influyen en la precipitación y el balance de agua en Galicia. *Boletín de la A.G.E.*, 18, pp. 79-97.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. y CASTILLO RODRÍGUEZ, F. (1996): Condicionantes atmosféricos de las precipitaciones elevadas y su relación con algunas inundaciones en el área de Padrón (Ría de Arousa, Galicia. In MARZOL, M.V., DORTA, P. y VALLADARES, P. (Eds.). *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*. La Laguna: Universidad de La Laguna y Asociación de Geógrafos Españoles, 1996, p. 37-48.

- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., CASTILLO RODRÍGUEZ, F. (1996): “Estacionalidad pluviométrica en Galicia: comportamiento, representatividad espacial y mecanismos asociados” En *Geographicalia*, nº 33, pp. 127-145.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PÉREZ ALBERTI, A. (2000). Atlas climático de Galicia. Centro de información e tecnología ambiental. Desenvolvemento sostible. Xunta de Galicia. <http://biblioteca.climantica.org/resources/210/atlas.pdf>.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (2000): La reconstrucción de paleoambientes cuaternarios: ejemplos y una síntesis de la evolución del Holoceno en el NW de la Península Ibérica. En *Estudios do Quaternario*, 3, 31-41. APEQ. Lisboa.
- MARTÍNEZ DE LA TORRE, A., MIGUEZ MACHO, G. 2009: Modelización dun escenario de futuro cambio climático en Galicia. En Pérez Muñuzuri, V. et al. (coords.): Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia. Santiago de Compostela.
- MATEU BELLÉS, J.F., CAMARASA BELMONTE, A.M. (2000): Las inundaciones en España en los últimos veinte años. Una perspectiva geográfica. *Serie Geográfica*, 2000, n1 9, p. 11-15.
- MORENO J.M. (ED. 2005). Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. Pp. 11-20.
- MORIN, E., VIVERET, P. (2011): *Cómo vivir en tiempos de crisis*, Ed. Icaria, Barcelona.
- OLCINA CANTOS, J. (1994): Riesgos climáticos en la Península Ibérica. Madrid: Libros Penthalon-Acción Divulgativa.
- OLCINA CANTOS, J. (1999): Síntesis de los riesgos climáticos que afectan al espacio europeo. *Investigaciones Geográficas*, n1 22, p. 69-78.
- OLCINA CANTOS, J. y AYALA CARCEDO, F.J. (2002): Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. In AYALA-CARCEDO, F.J. y OLCINA CANTOS, J. (Coords.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel, 2002, 41-74.
- PAL, J. S., GIORGI, F., AND BI, X. (2004): Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections. In *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L13202.
- PARRY, M. and LIVERMORE (eds.) (2001): Valoración de los efectos potenciales del cambio climático en Europa (Informe ACACIA de la Comisión Europea, resumen y conclusiones). Universidad de Castilla-La Mancha. Toledo.
- PEREZ-ALBERTI, A. (2008): Algo más que cambio climático. *Cerna: Revista galega de ecoloxía e medio ambiente*. Nº. 55, 2008, págs. 22-24
- PEREZ-ALBERTI, A. TRENHAILE, A. PIRES, A. CHAMINE, HI. LOPEZ-BEDOYA, J. y GOMES, A. (2012): Shore platform boulders and boulder beaches in Galicia, northwestern Spain. *Cont Shelf Res* 48:122-137.
- PEREZ-ALBERTI, A. PIRES, A. FREITAS, L. CHAMINE, HI. (2013): Shoreline change mapping along the coast of Galicia (NW Spain). *Pro Inst Civ Engin Mar Eng* 166(3):12.

- PHILLIPS ID, MCGREGOR GR. (2001): Western European water vapor flux–Southwest England rainfall associations. *Journal of Hydrometeorology* 5: 505-523.
- RODRÍGUEZ PUEBLA. C., ENCINAS, A.H. y GARCÍA SÁNCHEZ, B. (1999): Influencia de índices de circulación en las variaciones de precipitación invernal de la Península Ibérica”. En Raso Nadal, J.M. y Martín Vide, J. (Eds.): *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Asociación Española de Climatología. Serie A, nº 1, pp. 4777-485.
- RUDDIMAN, W. (2005): *Los tres jinetes del cambio climático. Una historia milenaria del hombre y el clima*. Ed. Ed. Turner. Madrid.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, R., GÓMEZ VIÑAS, P., ORRO ARCAAY, M. (2014): Centenario del Observatorio de A Coruña. Un siglo de registros climáticos en Galicia. AEMET. Madrid.
- STERN, N. (2007): *El informe Stern. La verdad del cambio climático*. Ed. Paidós. Barcelona.
- SÁNCHEZ, E., C. GALLARDO, M. GAERTNER, A. ARRIBAS, AND M. CASTRO (2004): Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: A first approach. In *Global Planet. Change*, **44**(1-4), 163-180.
- SEMMLER, T., AND JACOB, D. (2004): Modeling extreme precipitation events— A climate change simulation for Europe. In *Global Planet. Change*, **44**, 119-127.
- SILLMAN, J., AND ROECKNER, R. (2008): Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Clim. Change*, **86**, 83-104.
- SOARES, P.M.M. & CARDOSO, RITA & LIMA, DANIELA & MIRANDA, PEDRO. (2016): Future precipitation in Portugal: high-resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics*. 10.1007/s00382-016-3455-2.
- TOBAR QUINTANAR, P. y PÉREZ ALBERTI, A. (1995): Las precipitaciones de alta intensidad en Santiago-Labacolla. In CREUS NOVAU, J. (Ed.). *Situaciones de riesgo climático en España*. Jaca: Instituto Pirenaico de Ecología, 1995, p. 95-104.
- VVAA (2009): *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*. Ed. Xunta de Galicia. Santiago.
- WALKER, B., HOLLING, C. S., CARPENTER, S. R., & KINZIG, A. (2004): “Resilience, Adaptability and transformability in Social–Ecological systems” en *Ecology and Society* 9(2): 5-13.