

## Trabajo Fin de Máster

Caracterización de la exposición a la penetración de  
agua atmosférica en fachadas españolas mediante  
el uso de datos climáticos AEMET OpenData

Characterisation of the rainwater penetration  
exposure on Spanish façades from AEMET  
OpenData climatic data

Autor

Pablo Aragonés Martín

Director

José María Pérez Bella

Titulación del autor

Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2020

## Agradecimientos

Sirvan estas líneas para agradecer a José María Pérez Bella, director de este Trabajo de Fin de Máster, la dedicación y ayuda brindada a lo largo de todo el proceso. Lo excepcional de la situación vivida durante este año, que podría haber afectado a la elaboración de este trabajo, queda para este ámbito en concreto en algo anecdótico gracias a él.

## Resumen:

El Código Técnico de la Edificación en España (en adelante CTE) recoge desde el año 2006 una serie de aspectos orientados a la protección de las fachadas frente a la penetración de la humedad atmosférica, siendo necesario determinar el grado de exposición al que están sometidas dichas fachadas dependiendo de su localización para así definir un diseño adecuado de las mismas, evitando una protección excesiva o insuficiente.

Para ello, el CTE caracteriza la exposición mediante una combinación de dos mapas, uno eólico y otro pluviométrico. A partir de la localización de la fachada y de los grados de exposición cualitativos definidos según la misma en ambos mapas, se entra en una tabla que proporciona un grado de impermeabilidad requerido para la fachada.

Sin embargo, este procedimiento de cálculo obvia aspectos esenciales para valorar adecuadamente la exposición a la penetración de humedad atmosférica, ampliamente reconocidos por la bibliografía internacional en la materia. Tampoco proporciona un valor de exposición cuantitativo, que permita comparar la exposición existente entre varios emplazamientos o graduar la protección requerida por la fachada en cada caso.

Aunque actualmente existen estándares internacionales que permiten caracterizar esta exposición con precisión y de forma cuantitativa (ISO-EN 15927-3), éstos requieren de datos climáticos muy exhaustivos, habitualmente no disponibles en todos los emplazamientos (registros horarios simultáneos de precipitación y dirección-velocidad de viento). Debido a esto, la caracterización más extendida internacionalmente para esta exposición se realiza mediante la combinación de dos índices cuantitativos basados en registros climáticos de menor exhaustividad (diarios, mensuales, anuales):

- *Driving Rain Index* (índice DRI), que evalúa la exposición de la fachada ante el aporte de agua atmosférica desviada por la acción del viento sobre su superficie vertical.
- *Driving Rain Wind Pressure* (índice DRWP), que evalúa la exposición de la fachada ante la presión eólica, que simultánea a este aporte de agua, permite la penetración de la humedad en el interior de los materiales de la fachada.

La reciente disponibilidad de registros climáticos diarios recopilados en un gran número de estaciones meteorológicas españolas, a través de AEMET OpenData (un *application programming interface* apoyado totalmente en el estándar HTTP), ofrece por primera vez la oportunidad de elaborar mapas de exposición para España a partir de una base de datos oficial, unificada, fiable y de suficiente antigüedad.

Este trabajo inicia esta tarea, analizando datos climáticos registrados en estaciones meteorológicas del norte de España (Asturias, Cantabria, País Vasco, Aragón, La Rioja y Castilla y León), ofreciendo con ello unos primeros mapas de exposición para estas regiones. Esta caracterización futura de la exposición en todo el territorio nacional ha de permitir, en última instancia, sustituir el deficiente procedimiento de cálculo recogido en el CTE, mejorar la caracterización de la exposición y con ello, definir diseños de fachadas más ajustados a la solicitud realmente existente en cada emplazamiento.

## Abstract:

The Spanish Building Technical Code (CTE hereafter) includes since 2006 some aspects related to the protection of the façades against the atmospherical water penetration exposure. Consequently, it is necessary to establish the level of exposure over these façades according to their location. Once it is known the exposure's levels, a specific isolation will be used, avoiding a lack or excess of protection.

In order to achieve that, CTE uses a combination of two maps. The first one classifies zones of the country depending on the speed of the wind. The second one creates also different zones according to the amount of precipitation registered annually. Once it is known the location of the façade, we are able to extract the grades of exposure defined on both maps. With these two grades of exposure, we can extract from a table the degree of impermeability required for the façade on this location.

However, this procedure does not take some basic aspects into account to acquire an appropriate grade of exposure over façades, in spite of these aspects are widely recognized for international experts. This procedure neither provides quantitative exposure values. As a consequence of that, it is not possible to establish a comparison between some locations or create scales to graduate the isolation.

Despite there are some international standards created to determine the quantitative grade of exposure with precision (ISO-EN 15927-3), it is required specific kinds of data (hourly data records: precipitations and the combination of speed and direction of the wind) typically unavailable on some stations. Consequently, it is very common the use and combination of climate records of lower frequency (daily, monthly, or yearly):

1. *Driving Rain Index (DRI)*: Shows the exposure over the façade of the rain driven by the wind over its vertical surface
2. *Driving Rain Wind Pressure (DRWP)*: Shows the exposure over the façade of the wind pressure simultaneously with the driving rain. This pressure produces the penetration of water inside the façades.

Recently, the availability of daily climatic records has increased in some stations of AEMET. This data is now available through AEMET OpenData, an application programming interface based on HTTP standard. So that, there is an opportunity to elaborate exposure maps based on official and reliable database with enough length of service.

This work begins this task, analyzing climate data recorded in weather stations in northern Spain (Asturias, Cantabria, Basque Country, Aragon, La Rioja, and Castilla y Leon), thus providing some first exposure maps for these regions. This future characterization of exposure throughout the country should ultimately replace the deficient calculation procedure contained in the CTE, improve the characterization of exposure and thus define façade designs more suited to the actual existing demand at each location.



## Tabla de contenido

Resumen:	1
Abstract:	2
1. Introducción	4
2. Objetivos	8
3. Alcance	9
4. Metodología	10
4.1 Determinación de la lluvia batiente	10
4.2 Datos utilizados y cálculos realizados	16
5. Resultados y discusión.	25
5.1 daDRI	25
5.2 Orientación daDRI	26
5.3 dDRWPI	27
5.4 Orientación dDRWP	28
5.5 Datos de las estaciones	29
5.6 Relación daDRI - aaDRI	31
5.7 Relación dDRWPI - aDRWPI	32
5.8 Relación entre el valor escalar de daDRI y el máximo valor direccional daDRI para un emplazamiento	32
5.9 Relación entre daDRI y el valor de la pluviometría para un mismo emplazamiento.	33
5.10 Análisis de índice de riesgo de penetración de agua (Risk index of Water Penetration) o RIWP.	34
6. Conclusiones	36
7. Bibliografía	37
8. Anexos	39
8.1 Índice de figuras y fichas	39
8.2 Fichas resumen	41
8.3 Tabla de resultados	106
8.4 Mapa del índice daDRI	109
8.5 Mapa del índice DRWPI	110
8.6 Mapa de la orientación máxima del índice daDRI	111
8.7 Mapa de la orientación máxima del índice DRWPI	112
8.8 Formulación de la distribución de Gumbel	113

## 1. Introducción

El CTE tiene como uno de sus principales objetivos aumentar la calidad de los edificios en aspectos de funcionalidad, seguridad y habitabilidad (Pérez Bella, et al., 2014). Concretamente, uno de los requisitos básicos de la edificación según el CTE es la Habitabilidad, entendiendo como tales aspectos aquellos relacionados con la higiene, salud y protección del medio ambiente, además de protección contra el ruido, ahorro de energía y aislamiento térmico.

Dentro de esta categoría de requerimientos existe la exigencia de reducir la aparición potencial de humedades dentro de las edificaciones (CTE DB-HS1), las cuales deterioran notablemente la calidad de la construcción ya que provocan la degradación de los cerramientos, generan altos gastos en aspectos relativos al mantenimiento, disminuyen el aislamiento térmico de la envolvente, aumentando la energía consumida por el edificio y suponen un potencial riesgo para la salud de los usuarios o inquilinos del edificio (alergias, afecciones respiratorias... etc.). (Pérez Bella, et al., 2014).

La potencial presencia de humedades en las fachadas viene dada principalmente por fenómenos meteorológicos como la lluvia. Sin embargo, para que se produzca penetración de agua, deben producirse simultáneamente dos eventos climatológicos particulares:

- Lluvia batiente: Se entiende como lluvia batiente el aporte de agua de precipitación, que desviado de su trayectoria vertical por la acción del viento, impacta contra la fachada (se le denomina comúnmente *wind-driven rain* o WDR y su unidad más común son los l/m<sup>2</sup>).
- Presión eólica simultánea: Es aquella que actúa de forma simultánea a la lluvia batiente, posibilitando la penetración del agua en los materiales porosos de la fachada (se le denomina *driving rain wind pressure* o DRWP y se mide en Pascales).

Actualmente el Documento Básico de Salubridad – Protección frente a la Humedad (en adelante DB-HS1) del CTE fija unas condiciones mínimas de diseño para las fachadas para garantizar su impermeabilidad en función de los niveles de exposición asignados para una zona en concreto. Dichos niveles son obtenidos a partir de la toma como referencia de la pluviometría media anual y de la velocidad básica del viento en el emplazamiento de la fachada.

En cuanto a la pluviometría media anual, se trata del valor de precipitación que se registra de media sobre una superficie horizontal durante un año. Los posibles valores de cada punto quedan recogidos para componer zonas pluviométricas que quedan delimitadas gracias al uso de categorías (I, II, III, IV o V).



Ilustración 1 Zonas pluviométricas en España según la DB-HS1 incluida en el CTE.

Respecto a la velocidad básica del viento, se toma como referencia el valor máximo de velocidad de viento estimado para un intervalo de 10 minutos, y para un periodo de retorno de 50 años<sup>1</sup>. A partir de esta determinación estadística, se definen tres zonas eólicas (A, B y C). Una vez delimitadas las zonas eólicas, se tiene en cuenta la altura del edificio (≤15m, 16-40m, 41-100m), así como si se trata de una zona expuesta (E0) o una zona urbana, industrial o forestal (E1). Mediante el uso de una tabla tabulada se evalúan las posibles combinaciones de estos tres factores para obtener el grado de exposición al viento (V1, V2 o V3) al que se prevé estará sometida la fachada.

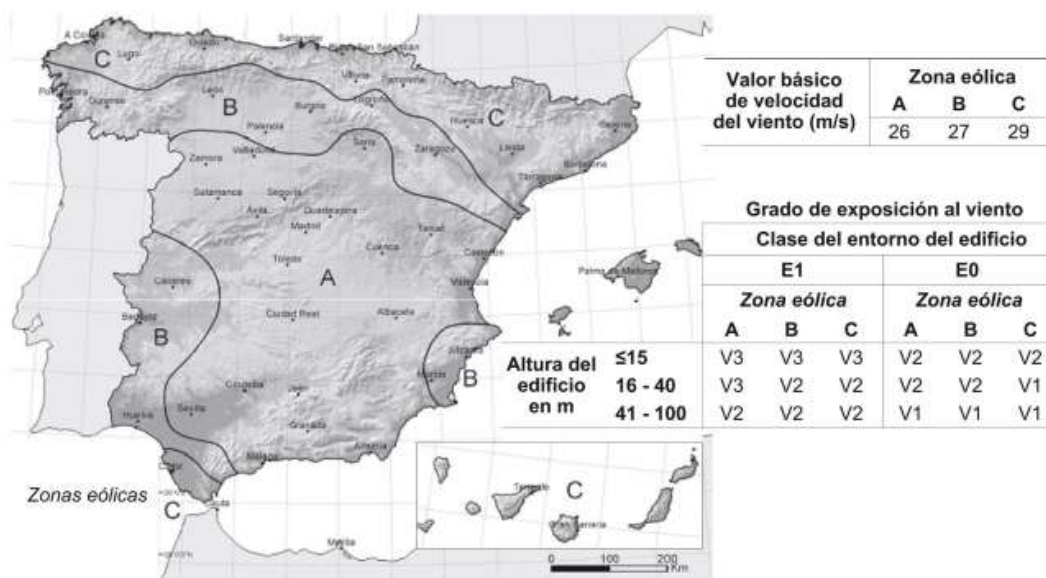


Ilustración 2 Diferentes zonas de valor básico de la velocidad de viento según la DB-HS1 incluida en el CTE

<sup>1</sup> Ver Anexo 8.8 Formulación de la distribución de Gumbel.

Por último, la combinación de las categorías pluviométricas I-V y los grados de exposición al viento V1-V3 permite establecer el grado de impermeabilidad requerido en cada caso (1 a 5), es decir, el grado de exigencia requerido para el diseño de la fachada.

Este valor dictamina el conjunto de configuraciones constructivas que deben aplicarse en la fachada, a partir de una serie de elementos preconfigurados: revestimiento exterior R, barrera de penetración al agua B, hoja principal C, higroscopicidad H, juntas J y revestimiento intermedio N).

		Zona pluviométrica de promedios				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

Tabla 1 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas (tabla 2.5 del DB-HS1 del CTE)

Grado de impermeabilidad	Con revestimiento exterior				Sin revestimiento interior			
	<1	R1+C1			C1+J1+N1			
	≤2	R1+C1			B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1+H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1	R1+C2		B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2
	≤4	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1	B2+C2+H1+J1+N1		B2+C2+J2+N2	B2+C1+H1+J2+N2
	≤5	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1		

Tabla 2 Soluciones para los cerramientos en función del grado de impermeabilidad según el DB-HS1 del CTE

Se deduce por tanto que el diseño requerido depende exclusivamente de los parámetros mencionados al principio (velocidad básica del viento y pluviometría media anual), los cuales no reflejan de manera veraz ni el volumen de agua que llega a los cerramientos verticales ni la presión eólica que actúa sobre los mismos en presencia de humedad, ya que el criterio que usa el DB-HS1 del CTE no tiene en cuenta determinados aspectos plenamente aceptados a nivel internacional en este ámbito:

- Las escalas temporales de ambos factores son incomparables entre sí ya que la pluviometría es un dato de carácter medio anual y la velocidad básica de viento representa un valor máximo estimado durante 10 minutos.
- La velocidad básica de viento no puede concretar información acerca de la presión eólica sobre las fachadas durante los eventos de precipitación y en las posteriores 96 horas siguientes ya que para determinar esta velocidad se toman de manera indiscriminada registros con y sin precipitación simultánea. Por lo que el parámetro no refleja una situación real (Pérez Bella, et al., 2014).
- Por otra parte, si solo se considera la pluviometría no puede extraerse información útil para la exposición a la penetración de agua, ya que es necesaria una simultaneidad entre precipitación y viento para que se genere un aporte de agua sobre la fachada y exista una posterior presión atmosférica sobre la misma que ayude a la penetración de la humedad. De lo contrario, el dato que se obtendría únicamente representaría el volumen de agua recogido por un plano horizontal (no vertical).
- Además, si bien el parámetro que se usa para medir la pluviometría se trata de una media anual, el valor recogido en la velocidad básica de viento se trata de un máximo, por lo que representan conceptos estadísticos diferentes, imposibles de combinar si quiere mantenerse la coherencia y el sentido físico.

- e) El proceso para la obtención del grado de exposición al viento carece de valores cuantitativos, lo que arrastra indeterminaciones y no permite comparar de forma precisa la situación de exposición en diferentes puntos geográficos.

## 2. Objetivos

En base a los motivos anteriores, se hace necesario buscar un proceso de caracterización que permita reflejar de una forma más fidedigna el grado de exposición al que se someten las superficies verticales para poder llegar así a soluciones constructivas más eficientes y eficaces.

Para ello se pretende:

- Caracterizar la lluvia batiente en un número significativo de emplazamientos repartidos por todo el norte peninsular, siguiendo metodologías aceptadas internacionalmente.
- Elaborar mapas de exposición a partir de los datos obtenidos en dichos emplazamientos del norte peninsular que puedan ser usados para determinar el grado de impermeabilidad requerido en un emplazamiento concreto.
- Elaborar mapas que indiquen la orientación más desfavorable a los índices que marcan la exposición a la penetración de agua atmosférica en fachadas.
- Presentar fichas personalizadas de exposición para cada emplazamiento analizado para así facilitar la recogida y tratamiento de datos de futuras investigaciones.
- Analizar la relación entre distintos indicadores de exposición con el objetivo de obtener correlaciones que ayuden a determinar índices necesarios para la caracterización de la exposición a la penetración de agua atmosférica en el caso de que faltaran datos climáticos a partir de índices que requieran una menor cantidad de datos.
- Comparar los resultados obtenidos con el grado de impermeabilidad requerido por el DB-HS1 para las mismas localizaciones.

### 3. Alcance

Estudios previos consiguieron determinar la exposición al WDR y DRWP mediante el uso de una combinación de datos procedentes de archivos climáticos diarios o mensuales obtenidos de estaciones meteorológicas, mapas de viento regionales y correlaciones (Ver 5.6 Relación daDRI - aaDRI y 5.7 Relación dDRWPI - aDRWPI) en las regiones de Galicia, Cataluña y Andalucía. Este método consiguió aumentar de manera significativa el número de estaciones para así reducir la distancia entre puntos con datos, disminuyendo la incertidumbre generada por las interpolaciones entre los mismos (Pérez Bella, et al., 2014).

Sin embargo, en la actualidad se dispone de una amplia base de datos diarios de acceso libre facilitados a través de la aplicación Aemet Open Data, que permite realizar este análisis de territorio de un modo más uniforme y riguroso, sin recurrir a fuentes diversas.

Puesto que Galicia y Cataluña ya han sido caracterizadas, se pretende un estudio de las regiones situadas entre ambas, ya que permitiría caracterizar completamente la exposición al WDR y DRWP del norte de España. Para ello se analizará un total de 64 estaciones repartidas por la zona, cada una de ellas dispone de una antigüedad de registros no inferior a 6 años.

## 4. Metodología

### 4.1 Determinación de la lluvia batiente

A mediados del siglo pasado y en diferentes partes de Europa, se llevaron a cabo una serie de estudios sobre la medición simultánea de la velocidad de viento y la intensidad de lluvia, además de la lluvia batiente recibida por superficies verticales (Pérez Bella, et al., 2015).

Gracias a ello, pudo establecerse una relación de carácter semi empírico que permite obtener de manera aproximada la cantidad de lluvia batiente que impacta en las superficies verticales, a partir de registros climáticos simultáneos de precipitación y velocidad de viento.

Esta relación, denominada como *WDR relationship*, se define como el producto de la velocidad del viento  $U$  (m/s), de la intensidad de la precipitación registrada sobre una superficie horizontal  $R_h$  (l/m<sup>2</sup>) y de un coeficiente empírico de ajuste  $k$  (s/m). (Pérez Bella, et al., 2015)

$$WDR = k * U * R_h \quad [1]$$

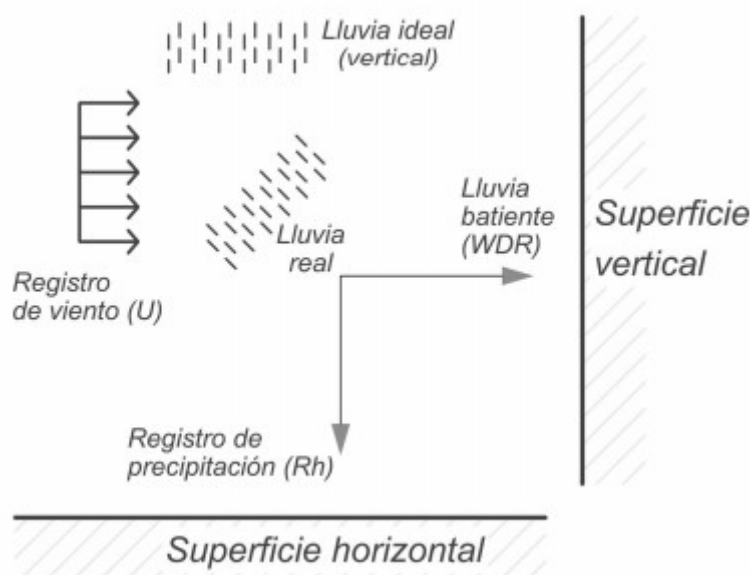


Ilustración 3 Esquema de la formación de lluvia batiente por acción del viento.

Esta ecuación [1] lleva implícitas algunas simplificaciones, ya que supone que la línea de flujo del viento es perpendicular a la superficie de impacto, además de ser estacionario. En consecuencia, la mejor aproximación posible con la realidad dependerá del adoptado para el coeficiente de ajuste  $k$ , así como de la simultaneidad entre los registros  $U$  y  $R_h$ , ya que deben ser muestreados a la vez y en intervalos de corta duración. Con esto se consigue reducir el error de muestreo y asegurar que los dos registros han sido tomados al mismo tiempo (Pérez Bella, et al., 2015).

Volviendo al coeficiente  $k$ , su valor se relaciona con la dimensión media de la gota de agua cuando se produce el registro, aspecto éste de muy difícil determinación y que varía para cada evento de precipitación y a lo largo del mismo. Estudios específicos han demostrado que los valores habituales se encuentran en un intervalo que va de 0,20 a 0,25 s/m, siendo este coeficiente menor cuanto menor sea la gota. No obstante, bajo determinadas condiciones, su valor puede oscilar incluso entre 0,1 y 0,5 s/m, lo que aporta una elevada indeterminación al resultado obtenido a partir de los registros  $U$  y  $R_h$ .



Dada esta indeterminación, es habitual omitir este coeficiente  $k$ , el resultado de la operación es ahora un índice de lluvia batiente ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), también conocido como DRI (*driven rain index*). Este índice no determina la cantidad de agua real que impacta sobre una superficie vertical, pero se usa habitualmente para establecer comparaciones el grado de exposición a la humedad atmosférica entre diversas localizaciones. Este índice suele calcularse para periodos anuales, estableciendo así una media de exposición anual o *anual driving rain index* (aDRI).

Cuanto más exhaustivos sean los registros climáticos utilizados (anuales, mensuales, diarios...), más precisa será la caracterización de la exposición, al evaluar de manera más efectiva la simultaneidad entre precipitación y viento. Históricamente y dada la limitada disponibilidad de registros climáticos exhaustivos disponibles durante un número suficientemente representativo de años ( $N$ ), se han venido utilizando registros anuales (aaDRI) o mensuales (maDRI) en la mayoría de los países.

$$aaDRI = \frac{\sum_{i=1}^N U_i * \left(\frac{R_h}{1000}\right)_i}{N} \quad [2]$$

#### 4.1.1 El estándar internacional actual:

Actualmente, desde la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011) se recoge el uso de forma internacional de la relación WDR desarrollando un tipo de estudio que tenga en cuenta, además, las orientaciones desde las cuales el agua llega a las fachadas. Para tal objetivo, se precisa de registros climatológicos de lluvia y viento recopilados en intervalos horarios extrapolando así tanto el volumen de lluvia batiente a largo plazo (mediante el uso de promedios anuales), como a corto plazo (mediante el uso de máximos concentrados en cortos intervalos de tiempo).

A largo plazo, la ecuación que determina la lluvia batiente media anual  $I_{A\ominus}$  ( $\text{l}/\text{m}^2$  año) sobre una superficie vertical orientado a  $\ominus$  es la siguiente:

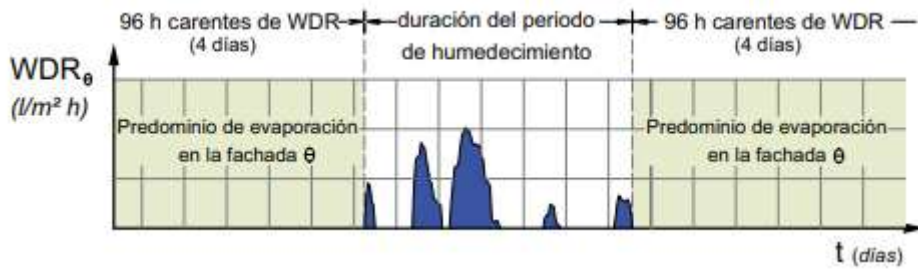
$$I_{A\ominus} = k * \frac{\sum_{i=1}^m U_{10} * (R_h)^{8/9} * \cos(D - \ominus)}{N} \quad [3]$$

Donde  $U_{10}$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) toma el valor medio de la velocidad del viento 10 metros de elevación sobre la rasante en un terreno despejado,  $R_h$  ( $\text{l}/\text{m}^2$ ) es la intensidad de lluvia y  $D$  ( $^\circ$ ) la dirección media del viento. Los valores de cada variable son obtenidos mediante registros horarios. Por otra parte, el coeficiente de ajuste  $k$  emplea un valor empírico de  $2/9$  ( $\text{s}/\text{m}$ ), considerado adecuado para registros de carácter horario realizados en Rino Unido.

Los valores que se introducen en la ecuación son los  $m$  registros horarios englobados durante los  $N$  años analizados, en los que además la dirección del viento genere un aporte de agua positivo sobre la superficie vertical de orientación  $\ominus$ . Este cálculo es exclusivo para una orientación  $\ominus$  determinada, por lo que deberá repetirse para las otras orientaciones posibles de fachada, obteniendo así un espectro global sobre el aporte de agua a las fachadas en cualquier dirección.

En un análisis a corto plazo, ha de tenerse también en cuenta el llamado periodo de humedecimiento. Este concepto recoge el fenómeno de penetración e hidratación de la fachada por la lluvia batiente durante la precipitación y antes de que la evaporación elimine mayoritariamente la humedad. Este humedecimiento suele ser significativo durante la

precipitación y se considera terminado tras 96 horas sin lluvia batiente. Pasado ese tiempo, se considera que la evaporación prevalece sobre la humedad presente en la fachada y que por tanto la exposición a la penetración de agua se reduce respecto del máximo alcanzado.



*Ilustración 4 Duración del periodo de humedecimiento tras la lluvia batiente.*

Así pues, se entiende por periodo de humedecimiento aquel intervalo de tiempo durante el cual una orientación de fachada recibe un aporte de lluvia batiente, considerándose acabado cuando se dan 96 horas sin aporte de agua sobre dicha orientación. En consecuencia, a lo largo del año puede producirse un número significativo de estos periodos de humedecimiento, sobre cada posible orientación de fachada.

Si en lugar de realizar un promedio durante un periodo de  $N$  años, se analiza individualmente el intervalo asociado a cada periodo de humedecimiento, se obtiene la lluvia batiente asociada a cada uno de esos periodos  $I'_{s\ominus}$ . Posteriormente, se deben tratar estadísticamente esos valores de  $I'_{s\ominus}$  para obtener un único valor de referencia  $I_{s\ominus}$  asociado a un periodo de retorno de 3 años (Pérez Bella, et al., 2015).

$$I'_{s\ominus} = k * \sum_{i=1}^m U_{10} * (R_h)^{8/9} * \cos(D - \ominus) \quad [4]$$

Con ello se determina, para cada posible orientación de fachada  $\ominus$ , la máxima cantidad de lluvia batiente que es previsible que pueda acumularse durante el periodo de humedecimiento más desfavorable que pueda producirse en 3 años.

No obstante, este tipo de cálculos requiere una considerable cantidad de datos y registros que solo pueden conseguirse mediante el uso prolongado en el tiempo (la norma recomienda un mínimo de 10 años) de equipos capaces de registrar todos los parámetros climatológicos necesarios con una frecuencia horaria. Por desgracia, el uso de este tipo de instrumentos no ha sido algo frecuente hasta los últimos años, por lo que la falta de un volumen de datos adecuados hace necesario considerar otros métodos de análisis que puedan arrojar resultados similares o simplificados tomando como base registros menos detallados (Pérez Bella, et al., 2014).

Es por ello que extensivamente, en el ámbito internacional, se ha optado por utilizar en su lugar el Driving Rain Index (DRI), que en definitiva es una simplificación funcional del procedimiento recogido en el estándar, y que permite llegar a resultados adecuados de exposición a partir de los registros disponibles en cada región (anuales, mensuales, diarios...).

#### *4.1.2 Determinación de la presión eólica simultánea a la lluvia batiente.*

La presión eólica simultánea  $DRWP$  (Pa) es el otro fenómeno esencial para que se pueda producir la penetración de humedad en el interior de la fachada. Ésta puede determinarse mediante la ecuación de Bernoulli:

$$DRWP = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * (U_{10})^2 * \cos(D - \Theta) \quad [5]$$

El aire se considera un gas ideal y  $\rho_{aire}$  tendrá un valor constante e igual a 1.2 kg/m<sup>3</sup>.

En el caso de trabajar con una exposición a largo plazo, la presión eólica simultánea ha de calcularse realizando un promedio anual durante los años analizados en los cuales solo se contabilizan los  $m$  registros con lluvia simultánea en los que además la dirección del viento genere una presión positiva sobre la superficie vertical de orientación  $\Theta$ :

$$DRWP_{A\Theta} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{1}{2} * \rho_{aire} * (U_{10})^2 * \cos(D - \Theta)}{m} \quad [6]$$

Análogamente al proceso de obtención de la lluvia batiente, este cálculo es exclusivo para una orientación determinada, por lo que deberá repetirse para otras orientaciones diferentes, obteniendo así un espectro global sobre el aporte de agua a las fachadas en todas las direcciones.

Lo mismo ocurre si en lugar de realizar un promedio durante un periodo de  $N$  años, se registra únicamente la presión eólica simultánea durante un periodo de humedecimiento, obteniendo la máxima presión eólica  $DRWP'_{s\Theta}$ . Posteriormente, se deben tratar estadísticamente esos valores de  $DRWP'_{s\Theta}$  para obtener un valor de referencia  $DRWP_{s\Theta}$  para un periodo de retorno de 3 años (Román, 2008).

Como en el caso de la lluvia batiente, la disponibilidad de registros climáticos más exhaustivos permite obtener resultados de mayor precisión, dando así lugar a distintos tipos de índices (anuales aDRWP, mensuales mDRWP, diarios dDRWP, horarios hDRWP...).

De esta manera, debe buscarse una alternativa mediante el uso de datos climáticos diarios para poder ofrecer un método que mejore la caracterización de los aislamientos de fachadas en España.

#### 4.1.3 Adaptación del estándar ISO al ámbito nacional.

A pesar de la gran red de estaciones meteorológicas que AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) posee distribuidas a lo largo de toda España, la toma de datos de precipitación y viento simultáneos ha sido habitualmente realizada con una frecuencia diaria o sinóptica (cada 6, 8 o 12 horas). En muy pocos lugares la frecuencia de recogida de datos (manual hasta hace relativamente poco), ha sido realizada con una frecuencia horaria.

En consecuencia, una opción válida para poder adaptar la normativa ISO a estas circunstancias es sustituir la frecuencia horaria por la diaria, usando la formulación internacional establecida para el *Driving Rain Index* (DRI) y el *Driving Rain Wind Pressure* (DRWP). Aunque se asumen los errores de simultaneidad asociados al uso de datos diarios, su utilización permitiría ofrecer mapas de exposición para el territorio español en cualquier caso mejores que los actualmente utilizados por el DB-HS1 (Pérez Bella, et al., 2012).

Por otra parte, otros estudios recientes realizados en España han obviado el carácter direccional de la presión eólica simultánea debido a la falta de datos direccionales, dando como resultado cifras escalares que recogen la exposición global a DRI y DRWP de todos los cerramientos de la construcción. Esta práctica, constituye también un modo de adaptar los valores ISO al sistema usado para la caracterización de los cerramientos de la DB-HS1 del CTE, ayudando de esta

manera a que una hipotética transición en la caracterización de los cerramientos en el CTE sea más suave y sencilla.

Sin embargo, estos trabajos se han realizado a partir de bases de datos diversas, pertenecientes a organismos públicos y privados, y a partir de series de diferente antigüedad e intervalos de registro. Todo ello ha llevado a una caracterización inconexa de la exposición en diferentes regiones del país, careciéndose todavía de un mapa uniforme, actualizado y verificado de exposición en base a los indicadores internacionales anteriormente mencionados.

En este sentido, y pese a contar con valores direccionales de las estaciones meteorológicas, durante la fase de tratamiento de datos se ha seguido fijando como objetivo la obtención de valores escalares, al igual que en estudios previos (5. Resultados y discusión.).

A pesar de las simplificaciones que se acaban de mencionar, estos resultados escalares han demostrado ser convergentes con los valores de máxima exposición direccional obtenidos a partir de la aplicación estricta de la norma ISO, por lo que son de entera utilidad para la determinación de estas exposiciones incluso en la orientación más desfavorable de cada emplazamiento (en definitiva, la de mayor interés para el diseño de las fachadas de todo el edificio) (Pérez Bella, et al., 2012).

#### *4.1.4 Estudios previos realizados en España*

Con el objetivo de conocer los índices WDR y DRWP en España, se han recopilado y analizado datos diarios de más de 80 localizaciones en un intervalo temporal que ha llegado a alcanzar los 30 años (Pérez Bella, et al., 2014).

Sin embargo, el número de estaciones de este estudio no era suficiente para obtener una caracterización representativa del conjunto del territorio nacional, ya que el promedio era de un dato de WDR y DRWP cada 6300 km<sup>2</sup>. Además, este hecho se veía agravado si se tenía en cuenta la baja presencia de estaciones en zonas rurales, la variedad en cuanto a climas y orografía del territorio nacional, como puede observarse en la siguiente imagen

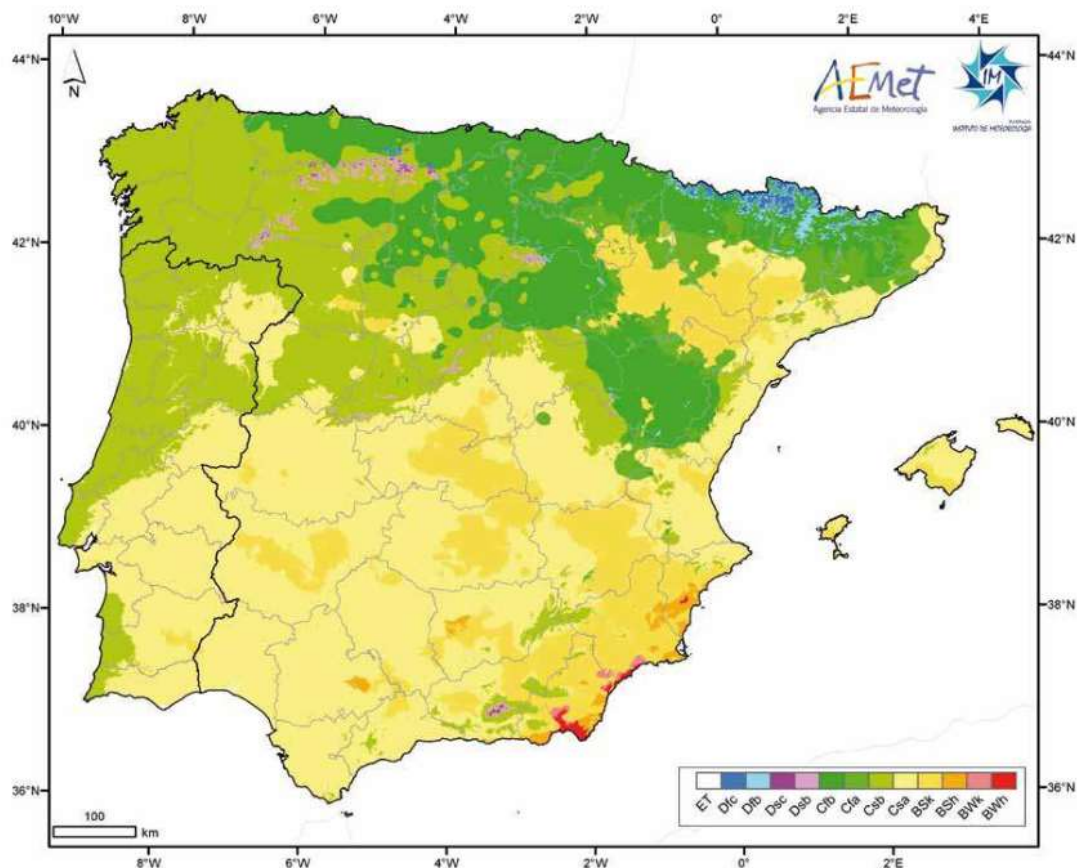


Figura 1 Clasificación climática Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares.

Tal y como se ve en la figura, hay una enorme diversidad climática en todo el territorio. Esto hace necesario contar con un mayor número de estaciones si lo que se busca es caracterizar de manera apropiada y rigurosa tanto WDR como DRWP en cualquier lugar del país.

Con el objetivo de solucionar este problema, posteriormente se realizaron estudios de regiones más pequeñas de forma separada y contando además con los datos proporcionados por los servicios meteorológicos locales. Sin embargo, a pesar de conseguir un significativo aumento del número de estaciones y por tanto de informes pluviométricos (aunque a menudo estos informes eran de carácter mensual en lugar de diario, lo que suponía un problema en cuanto a la calidad de los datos). No sucedió lo mismo con los datos relativos a la velocidad básica de viento. En este caso, los registros en muchos casos eran inexistentes o estaban interrumpidos en el tiempo o la cantidad de años registrados era insuficiente.

Para suplir esa falta de datos, los investigadores optaron por el uso de mapas de viento creados por diferentes agencias meteorológicas, tanto estatales como regionales e incluso aquellos creados con el propósito de desarrollar estaciones de generación eólica (Pérez Bella, et al., 2014).

La velocidad media extraída de esos mapas de viento puede sustituir la variable  $U$  para aproximar los valores de  $aDRI$  en lugares sin datos, incrementando así el espectro de puntos donde  $WDR$  puede ser calculado. Sin embargo, esta “Velocidad de viento media” no tiene en cuenta la simultaneidad con las posibles precipitaciones por lo que no puede ayudar a calcular rigurosamente la exposición de los cerramientos a la  $DRWP$ .

Para poder determinar la velocidad de viento y así llegar a la *WDR* y la *DRWP* en sitios en los que no se disponía de ningún tipo de información también sería posible utilizar modelos numéricos como el MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*). Este tipo de programas son usados para crear los mapas de viento para generadores eólicos mencionados anteriormente. Por tanto, la combinación de los datos presentes en los registros junto con los mapas de vientos y simulaciones permiten la obtención del índice *maDRI* para cada estación.

Sin embargo, esta técnica no es del todo rigurosa y no es recomendable usarla para determinar un valor medio de *DRWP* que vaya a ser usado para cálculos futuros.

#### 4.2 Datos utilizados y cálculos realizados

Se va a tratar de seguir el método más aproximado posible a los estándares UNE-EN ISO 15927-3:2011 dentro de las posibilidades que ofrecen las estaciones que van a usarse como fuente de datos, es decir:

- Se tomarán frecuencias diarias en lugar de horarias debido a que las estaciones de AEMET registran los datos cada 24h (índice *daDRI*).
- Se tendrán en cuenta para el análisis los valores direccionales de viento, aunque los datos finales para la aplicación al DB-HS1 del CTE sean escalares.

Para recopilar estos datos, AEMET cuenta con diferentes redes de observación meteorológica extendidas por todo el territorio español, teniendo cada una de ellas diferentes funciones.

Concretamente, la red destinada a la recopilación de datos meteorológicos cuenta con más de 3000 estaciones. Dentro de esta red, cabe destacar el subgrupo de la red climatológica ordinaria, que cuenta con un programa de medidas algo limitado y es gestionado en parte por voluntarios. Esta subdivisión de la red toma medidas como la precipitación acumulada cada 24 horas, los valores extremos de la temperatura diaria y los meteoros observados. AEMET tiene como objetivo la automatización paulatina de esta red.



*Ilustración 5 Jardín meteorológico de estación meteorológica semiautomática [AEMET].*

Además de las estaciones de la red climatológica ordinaria, AEMET cuenta con estaciones con la capacidad de realizar mediciones más complejas. Este tipo de estaciones está atendido por profesionales y constituyen la llamada “Red Climatológica de Referencia”.

El despliegue de estas redes, así como la implantación de otros proyectos destinados a diversas mediciones, no solo requiere una selección oportuna de las posibles localizaciones de estas

estaciones. Es necesario también fijar protocolos para la gestión de la información, mantenimiento y calibración de toda la instrumentación (AEMET, 2020).

El aprovechamiento de los datos provenientes de estas redes ha sido posible gracias al uso de AEMET Open Data. Se trata de un API REST, o lo que es lo mismo, una serie de funciones y rutinas que facilita AEMET para que un software de un tercero pueda obtener documentos, información y datos. Esta API (*Application Programming Interface*), se apoya completamente en el estándar HTTP, lo que le confiere la capacidad de hacer uso de un servicio web externo desde una aplicación propia de manera segura (AEMET, 2020).

La información que puede descargarse desde AEMET OpenData es la siguiente:

- Datos de observación, radiación y contaminación de fondo
- Imágenes de radar, mapas de rayos y productos derivados de satélite.
- Climatologías, valores normales y otros productos climatológicos.
- Predicciones normalizadas en texto, predicciones específicas, predicciones marítimas.
- Mapas significativos de análisis y previsiones.
- Avisos de fenómenos meteorológicos adversos e índices de incendios.

Todo lo anterior se puede descargar de manera gratuita una vez se haya obtenido una API Key, la cual debe solicitarse en la propia web de AEMET por medio del registro de un correo electrónico. Esta API Key tiene la función de controlar el que el número de accesos por minuto y usuario no supere el límite bajo el cual el servicio opera correctamente. Con esto se garantiza un préstamo equitativo del servicio (AEMET, 2017).

Los datos obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas de AEMET para este estudio han sido extraídos de la web en formato JSON.

JSON (*JavaScript Object Notation*) es una estructura para intercambiar datos, que nació como una alternativa a XML. El principal punto a favor para el uso de este formato de datos es que puede ser leído por cualquier lenguaje de programación, lo que confiere capacidad para ser un transmisor de información entre diferentes tecnologías.

Para poder operar los datos de una manera cómoda, era necesario convertirlos a un formato más manejable. En este caso, el formato elegido es XML para poder posteriormente emplear hojas de cálculo que obtengan los parámetros deseados de forma más rápida.

Los datos de las estaciones que se han analizado se registraron entre 2010 y 2019 (ambos incluidos), acumulando un total de 10 años de datos en 65 emplazamientos diferentes, de los cuales se han extraído datos como la precipitación registrada, la velocidad media de viento, la dirección del viento y la racha máxima de viento durante tres segundos.

Por tanto, debe seleccionarse la estación deseada y descargar el intervalo temporal de datos correspondiente. En este caso el intervalo es de 10 años, mientras que el máximo intervalo permitido por el servicio AEMET OpenData es de 5 años para una única descarga, por lo hay que realizar dos descargas de datos para cada estación.

Este intervalo de 10 años es el mínimo establecido por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, la cual señala que el intervalo ideal sería de unos 30 años. Sin embargo, el número de estaciones de la red climatológica diaria de AEMET con un espectro de datos en torno a 30 años es reducido, por lo que la obtención de un mapa general de exposición no sería posible debido a los pocos puntos de datos disponibles.



Después de haber descargado los datos, es necesario convertirlos al formato XML, para ello se usaron conversores online en los que había que introducir la serie de datos a convertir en formato JSON y devolvía una hoja de cálculo con los datos en formato XLM.

Una vez los datos están en la hoja de cálculo, es necesario comprobar que no hay ninguna fecha omitida y si es el caso, introducir filas vacías en el lugar donde deberían estar esas fechas. La hoja de datos solo tendrá en cuenta aquellas filas que estén completamente llenas, sin embargo, es importante que los datos asignados a cada fecha queden en la posición que le corresponde, ya que en el caso de que la estación no haya podido registrar datos de un número considerable de días, se producirían descuadres entre meses y años que podrían desvirtuar la ficha resumen.

Por esa razón, las series de datos de cada estación deben revisarse manualmente en el caso de que falten datos para introducir filas vacías la posición correspondiente. Esta tarea puede ser llegar a ser algo tediosa, ya que a menudo se llega a alcanzar el equivalente a un año o más en días perdidos, todos ellos distribuidos aleatoriamente a lo largo del conjunto de datos de la estación.

Esta ausencia de datos puede llegar a ser tal que incluso sea razonable descartar la estación con la que se está trabajando. Para discernir si es necesario o no desestimar la supuesta estación, se ha seguido un criterio meramente práctico, ya que a excepción de dos estaciones que presentaron una cantidad de datos inferior a dos años, en el resto de estaciones se registraron seis o más años, por lo que el límite inferior quedó fijado en 6 años.

Una vez recopilados y ordenados, se procede a un análisis de éstos, tanto de forma escalar como de forma direccional únicamente si el conjunto de datos está completo o todos tienen un valor distinto de 0.

En el análisis escalar, se calcula el daDRI correspondiente para cada fecha tomando la precipitación y la velocidad media de forma similar a lo que se ha visto con anterioridad en [2] sólo que para un día en lugar de un año:

$$daDRI = U * \frac{R_h}{1000} \quad [7]$$

En el caso del cálculo de DRWP, se calcula con la velocidad media registrada tal y como se vio en [5] eliminando el componente direccional.

Una vez se han obtenido todos los resultados correspondientes a cada día, se realizan diferentes promedios para la obtención de los parámetros finales anuales y diarios.

En el análisis direccional, también se procede a los cálculos únicamente si el conjunto de datos está completo y todos son mayores que 0. En ese caso, para el cálculo de daDRI, se añade a la fórmula anterior un componente direccional, quedando de la siguiente manera:

$$daDRI = U * \frac{R_h}{1000} * \cos(D - \Theta) \quad [8]$$

Se calcula para un abanico de direcciones  $\Theta$  que va de 0° a 360° con incrementos de 15° y se contabilizan solamente si el resultado es mayor o igual que 0.

El proceso para el cálculo de DRWP es exactamente el mismo empleando la fórmula [6]. Los resultados obtenidos para cada una de las estaciones se muestran en 8.2 Fichas resumen.



A continuación, se exponen los climas característicos de cada región:

#### 4.2.1 Asturias:

La climatología en Asturias viene determinada por su orientación al Cantábrico, cuyas corrientes le confieren un clima templado con una variación de temperatura muy pequeña entre los meses más fríos y los más cálidos.

Las constantes precipitaciones producidas por la combinación de frentes tormentosos provenientes del Cantábrico, y la presencia de la cordillera Cantábrica hacen que la totalidad del clima de Asturias sea un claro ejemplo de clima Atlántico. Esto se debe a que la cordillera cantábrica enfría los frentes cargados de humedad y hace un tapón que evita que las nubes bajas se adentren en la meseta norte, lo que provoca que las precipitaciones se concentren entre el mar y la misma cordillera.



*Ilustración 6 Entrada de borrascas en Asturias y su interacción con la cordillera cantábrica.*

También existen zonas protegidas por valles profundos que albergan un clima algo más seco con mayores variaciones térmicas (Pérez, 1994).

##### 4.2.1.1 Estaciones

La red de climatología diaria de AEMET cuenta con cinco estaciones en el Principado, tres en la costa y una en la capital y la última de ellas en la cordillera, consiguiendo así un espectro bastante completo para el análisis.

#### 4.2.2 Navarra

La superficie de la Comunidad Foral de Navarra alcanza aproximadamente los 10.400 km<sup>2</sup> y se encuentra cercada por el extremo occidental de los Pirineos al norte y el río Ebro al sur. Se encuentra además muy próxima al mar Cantábrico. Esto hace que pueda distinguirse una frontera muy marcada entre la zona norte y la sur. En la primera de ellas existe una marcada accidentalidad geográfica debido a la cordillera pirenaica, mientras que, en la zona sur, predominan las planicies.

Esta variedad orográfica se traduce también en una variedad climática. Como ejemplo de ello puede encontrarse un clima templado y húmedo, con abundantes precipitaciones hacia la zona de los valles cantábricos. La zona sur por el contrario presenta un clima mediterráneo continental, más árido y seco, llegando a ser desértico en las Badernas Reales. La franja intermedia entre ambas regiones acoge climas subalpinos principalmente al este debido a la influencia pirenaica y también climas mediterráneos con precipitaciones más abundantes en la zona central (AEMET, 2020).



Ilustración 7 Principales zonas climatológicas en la Comunidad Foral de Navarra.

#### 4.2.2.1 Estaciones

La gran variedad climática contrasta con el escaso número de estaciones de la red de AEMET que ofrecían datos climatológicos diarios para esta región. Concretamente, se han obtenido datos de tres estaciones, una de ellas situada en la zona Atlántica, otra en la zona media y la última en la zona Sur.

#### 4.2.3 Cantabria

Cantabria es una zona de transición entre el mar cantábrico y la meseta, por eso se diferencian tres zonas climáticas principales, como puede verse en la siguiente ilustración (González, 2014):



Ilustración 8 Zonas climatológicas en Cantabria.

- Zona de clima oceánico: Ocupa la mayor parte del territorio cántabro partiendo desde la costa. Sin embargo, dentro de esta zona hay dos subdivisiones:

- Clima oceánico de costa: Ocupa el tercio norte de la comunidad, se caracteriza por tener temperaturas suaves y abundantes precipitaciones durante todo el año.
- Clima oceánico de las sierras interiores: En este caso las temperaturas son menores que en la costa y las precipitaciones son menos abundantes durante el verano.
- Zona de clima mediterráneo de interior: Se sitúa en la zona más al sur de la comunidad, donde se registra una mayor variación de temperatura entre estaciones y menores precipitaciones durante todo el año.
- Zona climática de montaña: Se alcanza en zonas en las que la cordillera cantábrica supera los 1500 metros de altitud, al sudoeste de la comunidad. Aquí las precipitaciones son abundantes durante todo el año y las temperaturas tienden a ser más frías.

#### 4.2.3.1 Estaciones

Cantabria cuenta con dos estaciones con registro de la climatología diaria, una de ellas situada en la zona oceánica de costa y la otra en la zona oceánica de interior.

#### 4.2.4 País Vasco

El País Vasco tiene, a grandes rasgos, tres zonas climatológicas (euskalmet, 2011):

- Zona de clima Atlántico, el cual abarca el territorio completo de las provincias de Bizkaia, Gipuzkoa y marginalmente, la zona norte de Álava. Siendo características sus abundantes precipitaciones y las temperaturas templadas. A este efecto contribuye también la orografía de la región. A diferencia de otras zonas anteriormente comentadas, los veranos aquí sí pueden llegar a ser muy calurosos.
- La zona media, también denominada zona de transición, presenta características de clima mediterráneo de interior, aunque sigue bajo la influencia atlántica, ya que no hay periodos estivales secos. La influencia atlántica va perdiendo peso a medida que se avanza hacia el sur hasta llegar a la siguiente zona característica:
- Zona sur: Esta zona ocupa el tercio sur de la provincia alavesa, en la rioja alavesa y el comienzo de la depresión del Ebro, y se caracteriza por tener una mayor variabilidad térmica entre estaciones y veranos más secos, por lo que entra ya dentro de la categoría de mediterráneo continental.



- la vertiente atlántica al norte,
- la Euskal Herria media en el centro
- El extremo sur, entrando en la depresión del Ebro y Rioja Alavesa/Arabako Errioxa.

*Ilustración 9 Zonas climatológicas del País Vasco.*

#### 4.2.4.1 Estaciones

Pese a que AEMET cuenta con estaciones en todas las provincias, el número en Gipuzkoa y Bizkaia es significativamente mayor que las ubicadas en Álava.

#### 4.2.5 Castilla y León

Castilla y León ocupa la submeseta norte de la península ibérica. Esto hace que, salvo las zonas más altas de montaña situadas principalmente al norte de la comunidad, una gran parte de la comunidad autónoma tenga un clima tipo C según la clasificación Köppen. Este tipo de clima se caracteriza por tener temperaturas medias en un rango entre los 0°C y los 18°C en sus meses más fríos.

Esta categoría climatológica abarca un amplio abanico de diferentes climas (Atlántico, Mediterráneo, Oceánico...). De esta manera, se añade un subíndice si tiene estación seca en verano ( $C_s$ ) o en invierno ( $C_w$ ) o directamente no hay estación seca ( $C_f$ ). Si los veranos son calurosos, es decir, con temperaturas medias en los meses más cálidos superiores a 22°C, se añade una tercera letra (a). En el caso de ser templados (medias menores a 22°C y durante al menos cuatro meses, medias superiores a 10°C) se añade una (b) y en el caso de ser fríos (medias inferiores a 22°C en verano y menos de cuatro meses con una media superior a 10°C) se añade una letra (c). Se muestra a continuación un mapa detallado de las diferentes zonas climáticas (Nafría García, et al., 2013):

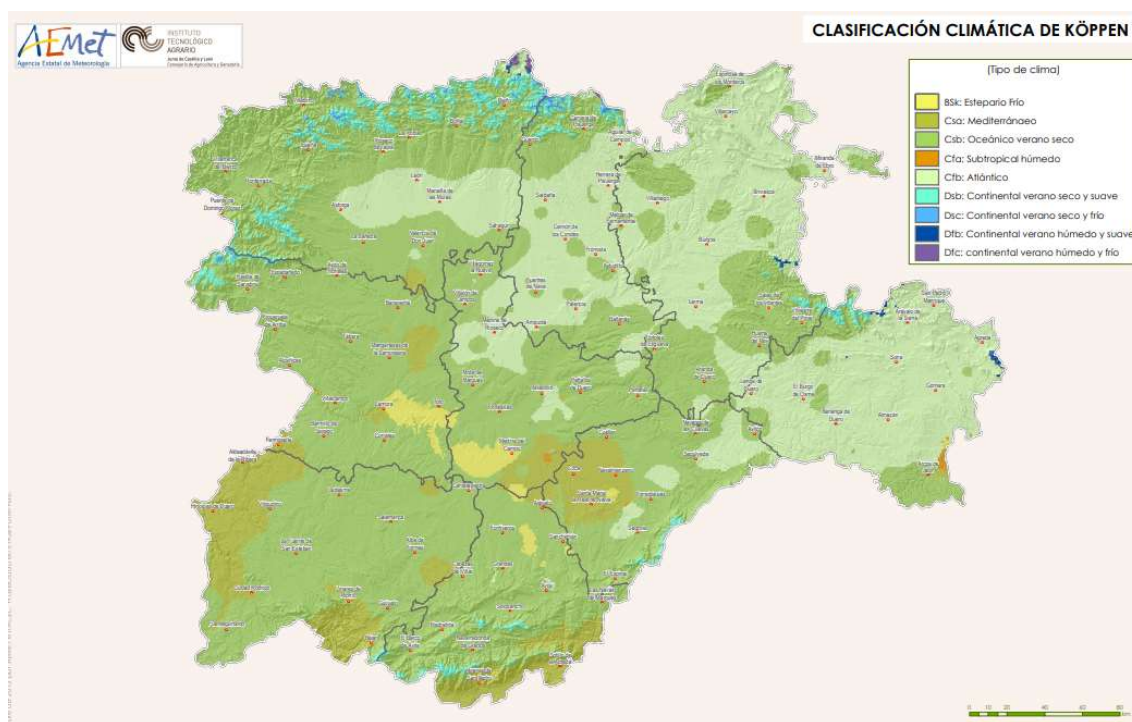


Ilustración 10 Zonas climatológicas en Castilla y León.

#### 4.2.5.1 Estaciones

Castilla y León cuenta con una amplia red de estaciones de climatología diaria por toda la comunidad.

#### 4.2.6 Aragón

La amplitud del territorio aragonés a lo largo del eje norte-sur provoca variaciones climáticas respecto al predominante clima mediterráneo continental, marcado por escasas precipitaciones

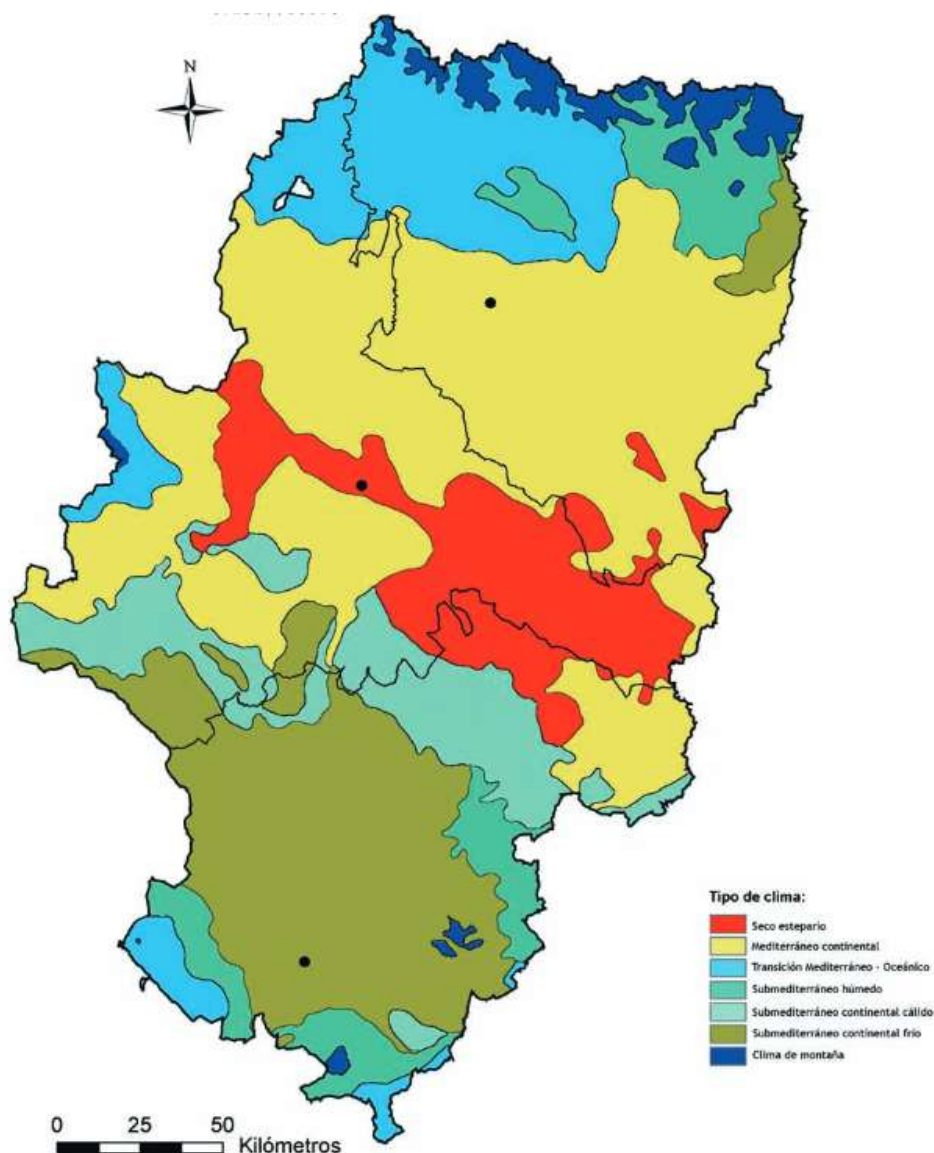


repartidas principalmente entre primavera y otoño. Además de lo anterior, existe una variabilidad térmica marcada entre estaciones.

Estas variaciones climáticas son en gran medida producto de la topografía de la región además de las influencias del Cantábrico en la zona norte y el Mediterráneo en la zona media y sur.

Para entender un poco mejor el amplio espectro climatológico presente en Aragón, basta simplemente con enunciar dos paisajes característicos de la comunidad autónoma, como las montañas pirenaicas con abundante humedad y bajas temperaturas, en contraposición con las calurosas y secas planicies que constituyen la depresión del Ebro en el sector central.

Por debajo de la parte meridional, aparecen otras gamas climatológicas, todas ellas bajo la influencia del sistema ibérico. A continuación, se detalla un mapa en el que pueden apreciarse todas estas gamas (Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio ambiente, 2007):



*Ilustración 11 Los tipos de clima en Aragón.*

#### 4.2.6.1 Estaciones

Aragón cuenta con catorce estaciones repartidas por sus tres provincias con el objetivo de abarcar toda la diversidad climática del territorio.

#### 4.2.7 La Rioja

En esta región se presenta una climatología de transición entre la Atlántica característica de la zona norte de España y las zonas más secas de la depresión del Ebro. La mayor influencia atlántica en la zona Oeste tiene como efecto una mayor concentración de lluvias. Estas precipitaciones tienen un efecto termorregulador y en consecuencia, en el Oeste las diferencias en cuanto a temperaturas máximas y mínimas son menores en comparación con la zona oriental.

La influencia del sistema central, presente principalmente en el suroeste, provoca también una rápida transición desde el clima atlántico, al mediterráneo continental presente en la zona colindante al río Ebro (Cuadrat & Vicente Serrano, 2008).

##### 4.2.7.1 Estaciones:

Solo se pudo disponer de una estación para la caracterización de la zona, sin embargo, los alrededores de La Rioja estaban bien cubiertos por estaciones en otras comunidades, con la salvedad de la zona sur, donde el Puerto de Piqueras conduce a la provincia de Soria, en la que también se cuenta con una única estación de climatología diaria.

## 5. Resultados y discusión.

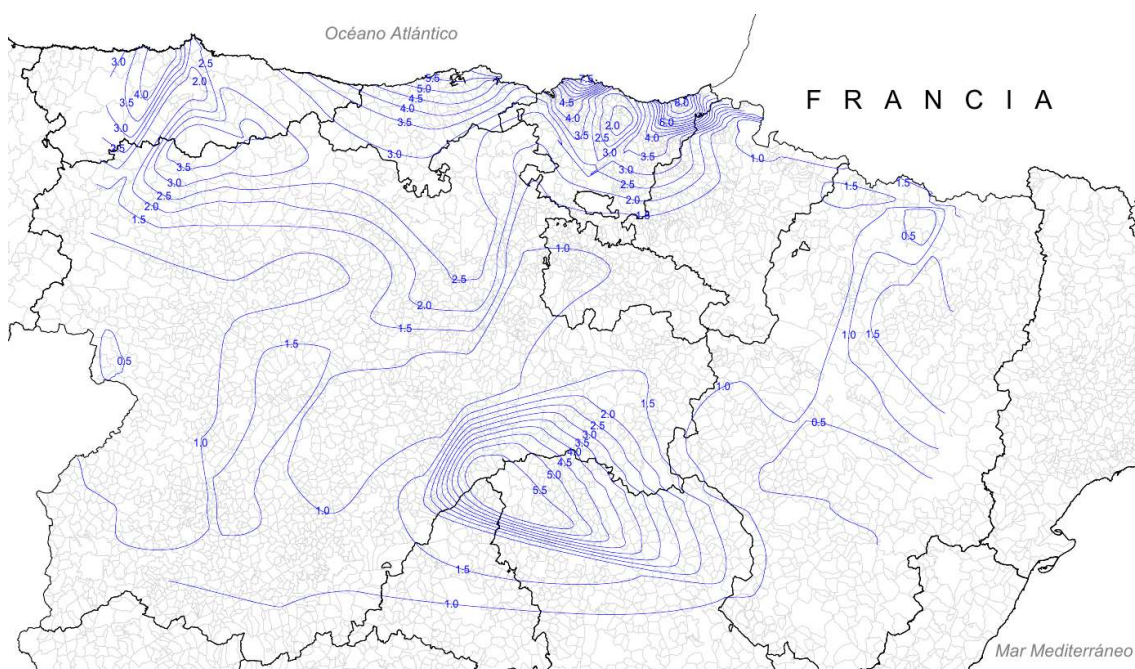
El tratamiento de los datos recopilados ha permitido extraer para cada una de las estaciones un valor de daDRI y de dDRWPI, además de las direcciones en las cuales se experimenta la máxima exposición para ambos parámetros.

Una vez se tienen estos valores, es posible elaborar mapas que permitan extrapolar los valores de exposición a regiones cercanas para así caracterizar completamente la zona de estudio.

Estos mapas han sido elaborados mediante la aplicación Allplan BIM 2020 de la empresa Nemetscheck, mediante el equivalente a un modelado digital del terreno, donde la estación se ubica dentro del mapa con sus coordenadas geográficas X e Y para sustituir en la coordenada Z la altura por el valor de daDRI, dRWPI o una orientación. A partir de ahí, se produce una triangulación entre puntos que da lugar a la obtención de curvas de nivel, que en este caso, en lugar de representar la altura del terreno, representan isolíneas de exposición o de dirección.

### 5.1 daDRI

Se presenta a continuación el mapa encargado de mostrar los valores de daDRI, existe una versión en A3 en 8.4 Mapa del índice daDRI:



*Ilustración 12 Valor del índice daDRI [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] en el centro-norte de la Península Ibérica.*

Los resultados expuestos en el mapa pueden ser interpretados en gran parte gracias a la información climática comentada anteriormente en el apartado 4.2 Datos utilizados y cálculos realizados.

Comenzando por Asturias, es posible apreciar la influencia de la cordillera cantábrica, particularmente, en la zona circundante al Puerto de San Isidro. Además, la constante llegada de vientos desde el noroeste produce altos valores de este índice en toda la región.

En el caso de Cantabria y el País Vasco, se aprecia claramente esa transición entre la zona de influencia atlántica, donde se dan valores daDRI más elevados y la zona más continental donde el valor del índice se va reduciendo progresivamente. Concretamente, es en la costa del País Vasco (San Sebastián) donde se dan los valores más altos registrados.

Se llega ahora a Navarra, donde se distingue la influencia atlántica en la zona colindante al País Vasco, y unos valores estabilizados entre 1 y 1.5 m/s<sup>2</sup> en el resto del territorio, donde el reducido número de estaciones de la red climatológica diaria ha podido contribuir a crear una “falsa estabilidad” a pesar de la homogeneidad existente entre los resultados aportados por las estaciones existentes.

Donde sí se aprecia este efecto de “falsa homogeneidad” es sin duda en La Rioja, donde la única estación existente en la región entra en consonancia con el sur de Navarra y alrededores. Sin embargo, la ausencia de variaciones en la zona que rodea los Picos de Urbión, con climas más propios de montaña, es consecuencia de la ausencia de una estación que registre datos en esa zona.

Entrando ahora en Castilla y León, se puede apreciar la influencia de la Cordillera Cantábrica en el norte de la comunidad, así como la influencia del Sistema Central en el suroeste. Puede observarse también índices más bajos en el centro de la Comunidad Autónoma, propios de un clima más seco.

Por último, Aragón presenta índices muy homogéneos, lo que contrasta con su variedad orográfica y climatológica.

Las zonas perimetrales del área estudiada no disponen de curvas de nivel debido a que no se trabajó con estaciones de comunidades circundantes para poder triangular estas áreas.

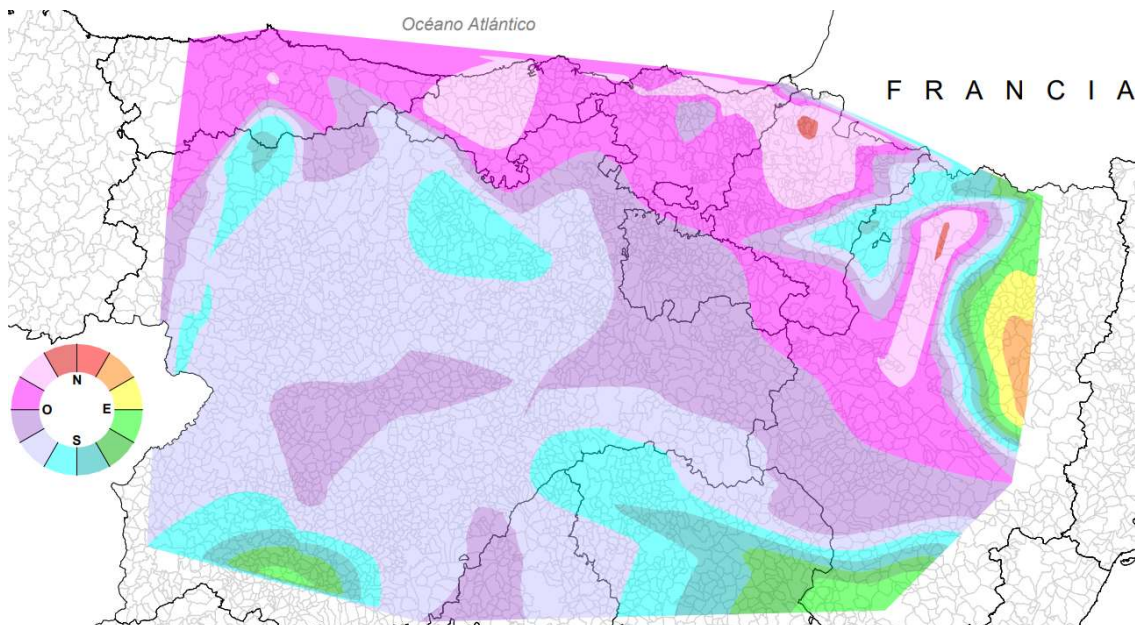
## 5.2 Orientación daDRI

Una de las novedades que se plantean en los objetivos de este estudio es la creación de mapas que indiquen la orientación más desfavorable a los índices que marcan la exposición a la penetración de agua atmosférica en fachadas.

Para ello, se ha tomado del estudio direccional de cada una de las estaciones (ver 5.5 Datos de las estaciones) la orientación en la que se registraba una mayor incidencia de cada índice, elaborando así un mapa de forma similar a la anterior, con la diferencia de que en este caso, para poder conseguir continuidad a lo largo de todo el mapa y que fuese una lectura sencilla, se evitó una representación de estas direcciones principales con valores numéricos. Esto se debe a que, a diferencia de representar cotas u otro tipo de índices, el ángulo que marca la dirección más desfavorable siempre estará acotado en el intervalo [0-360).

Si se representasen estas direcciones con isolíneas basadas en el valor de sus ángulos, se obtendrían grandes variaciones para la zona de transición de 360º a 0º. Estos grandes saltos en el mapa, podrían no corresponder con las variaciones direccionales de la realidad. En consecuencia, para poder conseguir la continuidad mencionada anteriormente, se decidió crear 12 intervalos iguales de ángulos y asignar a cada uno de ellos un color, consiguiendo así transiciones suaves entre intervalos de ángulos adyacentes:





*Ilustración 13 Orientación más desfavorable al índice daDRI en centro-norte de la Península Ibérica.*

Como puede observarse, existe una clara predominancia de los vientos de origen oeste y noroeste a lo largo de toda la Costa Cantábrica y el Valle del Ebro que provocan una mayor exposición al índice daDRI en las fachadas orientadas al oeste y noroeste. La presencia de la Cordillera Cantábrica y el Sistema Ibérico establecen una barrera que provoca un cambio de tendencia a vientos de origen sur y suroeste en toda la zona de Castilla y León.

Por otra parte, el Mediterráneo ejerce una gran influencia sobre la región más al este de la zona de estudio, provocando vientos de carácter sur y sureste.

### 5.3 dDRWPI

Se presenta a continuación el mapa encargado de mostrar los valores de dDRWPI, existe una versión en A3 en 8.5 Mapa del índice DRWPI.

En este caso, el índice de presión eólica simultánea a lluvia batiente presenta valores elevados en la costa de Asturias debido a la influencia de los vientos costeros del Cantábrico desde el noroeste. Estos efectos se van atenuando a medida que se avanza al interior del principado.

Los altos valores de dDRWPI se mantienen a lo largo de toda la costa hasta llegar a Vizcaya, donde alcanzan valores máximos.

Pueden observarse también valores altos en la zona centro y sur de Castilla y León, así como en el Sistema Central y zonas concretas de la Depresión del Ebro, como resultado de la influencia del cierzo.

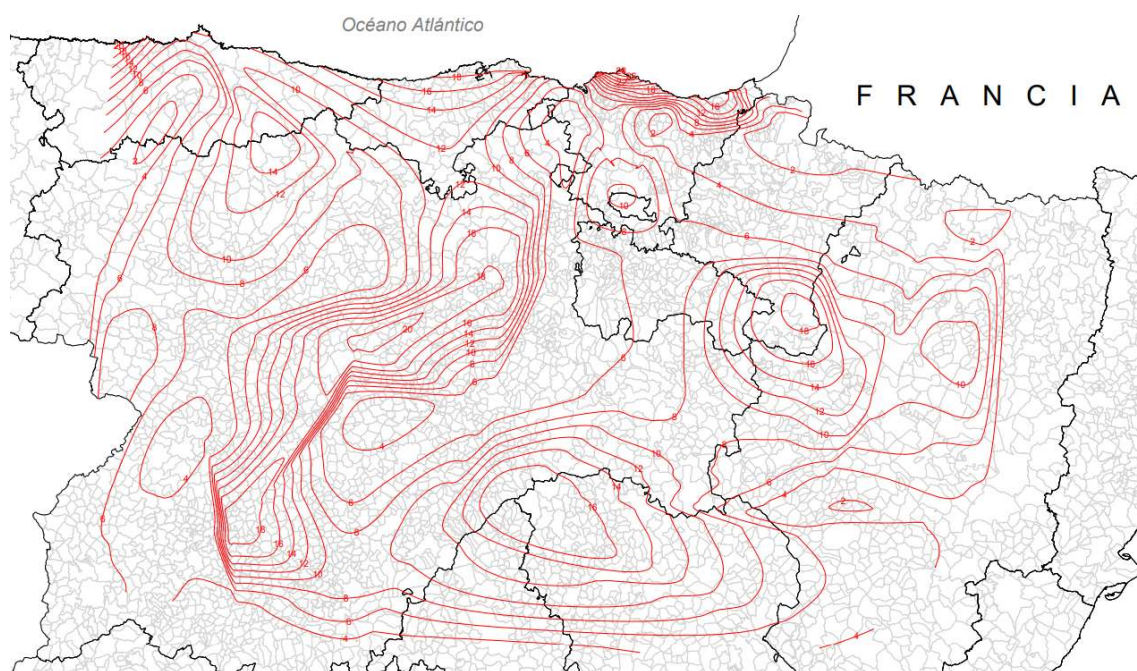


Ilustración 14 Valor del índice dDRWPI [Pa] en el centro-norte de la Península Ibérica.

#### 5.4 Orientación dDRWP

Se presenta a continuación un mapa que ilustra la dirección en la que el índice dDRWPI toma un valor máximo para cada punto siguiendo el mismo criterio en cuanto a leyenda que en 5.2 Orientación daDRI

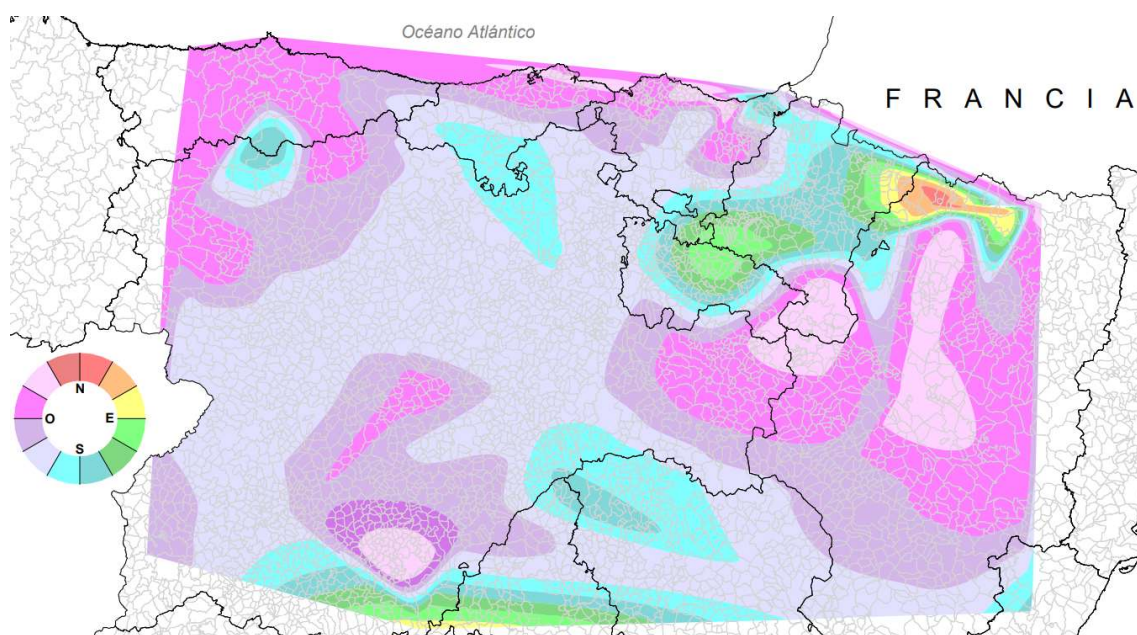


Ilustración 15 Orientación más desfavorable al índice dDRWPI en centro-norte de la Península Ibérica.

Puede observarse que la orientación más desfavorable al índice dDRWPI no tiene por qué coincidir con la orientación más desfavorable al índice de lluvia batiente, pese a que en la mayoría de los casos sean muy similares, a excepción del tercio este de toda el área analizada.



## 5.5 Datos de las estaciones

Como se ha comentado anteriormente, los datos que proporciona cada estación son tratados en una hoja de cálculo para la extracción de los índices necesarios en la elaboración de estos mapas.

A continuación, se muestra a modo de ejemplo la ficha resumen de una de las 68 estaciones analizadas en este trabajo, el resto, pueden verse en la sección 8.2 Fichas resumen:

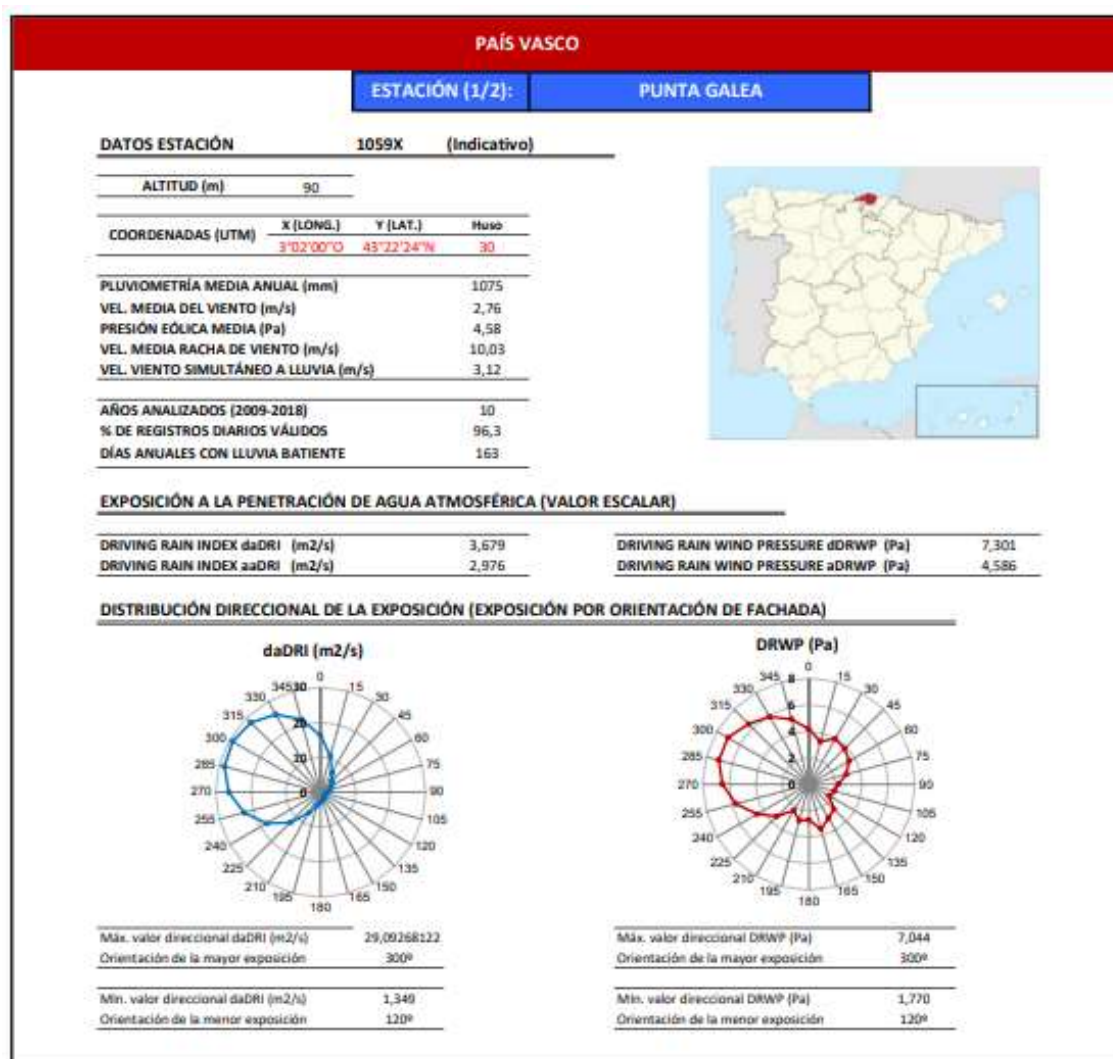


Tabla 3 Resumen de los datos de la estación 1059X en Punta Galea, Vizcaya [1/2].

Esta primera parte de la ficha resumen aporta datos descriptivos de la propia estación meteorológica, como su denominación, ubicación o altitud.

Además, ofrece un resumen de los valores climatológicos medios: Pluviometría media anual, velocidad media del viento, presión eólica media, velocidad media de racha de viento y velocidad de viento simultáneo a lluvia.

Por otra parte, indica el número de años analizados, así como el porcentaje de días de esos años que contienen todos los datos necesarios para el análisis.

Seguidamente, refleja los índices anuales de lluvia batiente utilizando registros anuales y diarios, siguiendo el mismo procedimiento para el índice de presión eólica simultánea.

En último lugar, muestra gráficamente las orientaciones preponderantes de estos índices y da tanto módulo como dirección de los máximos y mínimos de cada uno de ellos. Ambas gráficas ofrecen una información intuitiva sobre la distribución de la exposición existente entre las posibles orientaciones de fachada de cada emplazamiento, identificándose importante variaciones en esta exposición según orientación.

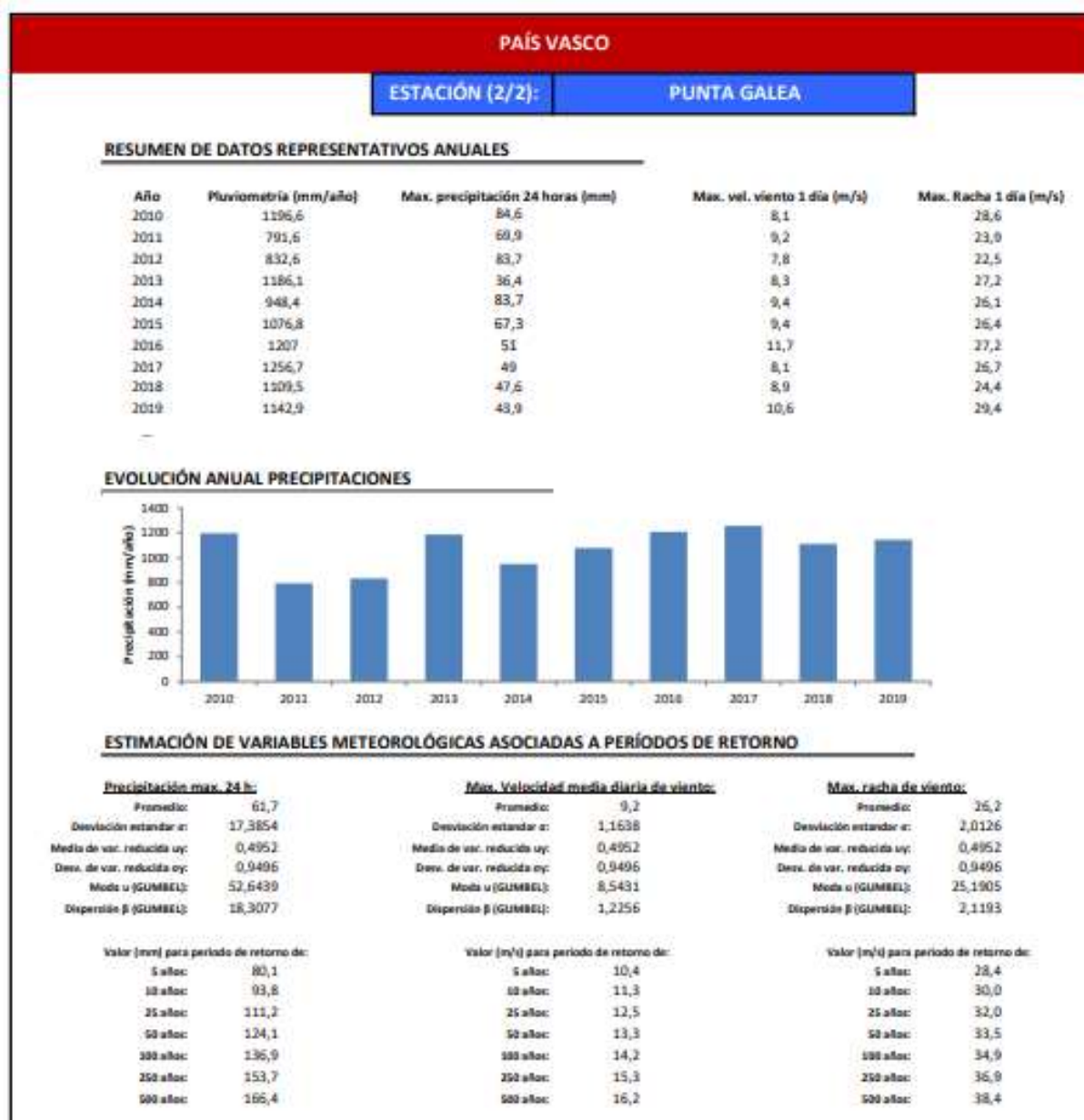


Tabla 4 Resumen de los datos de la estación 1059X en Punta Galea, Vizcaya [2/2].

En la segunda parte se ofrece un resumen año a año de la pluviometría media y de los valores máximos registrados de precipitación, velocidad media de viento durante un día y racha de viento, e inmediatamente después, aparece un gráfico con los valores anuales de precipitación.

Por último, incluye una estimación de variables meteorológicas asociadas a períodos de retorno desde los 5 a los 500 años:

Muchos fenómenos naturales se ajustan a distribuciones simétricas que pueden ser representadas mediante una Campana de Gauss. Sin embargo, el estudio de valores máximos y mínimos en meteorología tiende a una distribución asimétrica.

Debido a lo anterior, para poder realizar previsiones de estos valores, es necesario el uso de campanas asimétricas como la descrita por Gumbel, la cual, mediante la moda y la dispersión del fenómeno estudiado, aportará un valor del posible máximo del mismo para un periodo de retorno concreto. Los fundamentos utilizados para el cálculo de esta distribución Gumbel se recogen en el apartado 8.8 Formulación de la distribución de Gumbel (Román, 2008).

Estas predicciones pueden ser de utilidad para los diseñadores a la hora escoger diferentes soluciones constructivas.

#### 5.6 Relación daDRI - aaDRI

Por otra parte, tras la obtención de los índices de lluvia batiente anuales a partir de datos diarios (daDRI) y a partir de datos anuales (aaDRI), se ha llegado a la conclusión de que existe una relación lineal que permite, a partir de un dato aaDRI (índice de lluvia batiente anual a partir de datos anuales), extrapolar un valor muy aproximado al daDRI para esa región en concreto.

Esta relación, puede ser de gran utilidad en emplazamientos en los que sólo estén disponibles registros anuales de lluvia y viento, para así poder extrapolar un valor de exposición similar al que se habría obtenido a partir de datos diarios.

A continuación, se muestra un gráfico en el que se puede apreciar dicha relación a partir de la tabla con los principales datos de cada estación (8.3 Tabla de resultados):

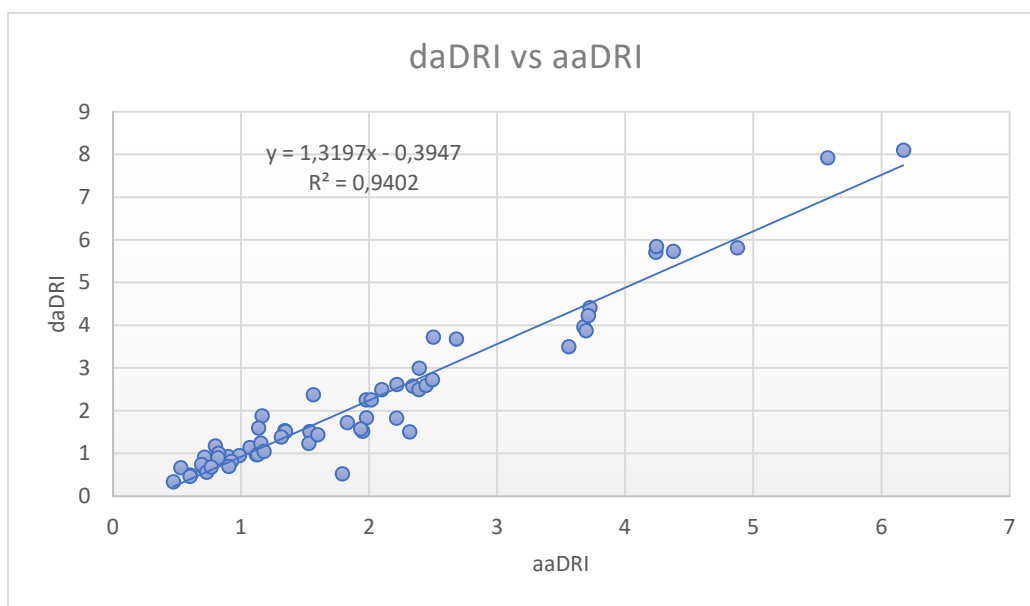


Gráfico 1 Relación entre los índices daDRI y aaDRI.

En base a esta relación, la red de estaciones disponibles para futuros estudios podría ampliarse más allá de la red de climatología diaria, obteniendo así mapas más detallados y extensos que ayuden a mejorar los procedimientos seguidos por el CTE DB-HS1.

### 5.7 Relación dDRWP - aDRWP

De manera similar, se analiza la existencia de una relación entre los índices dDRWP y aDRWP para poder extrapolar también estos valores a partir de estaciones de datos anuales y tener el índice requerido para la elaboración segundo mapa necesario en la caracterización de la exposición a la penetración de agua atmosférica en fachadas.

En el siguiente gráfico se muestra esta relación a partir de los valores en la tabla que se encuentra en 8.3 Tabla de resultados:

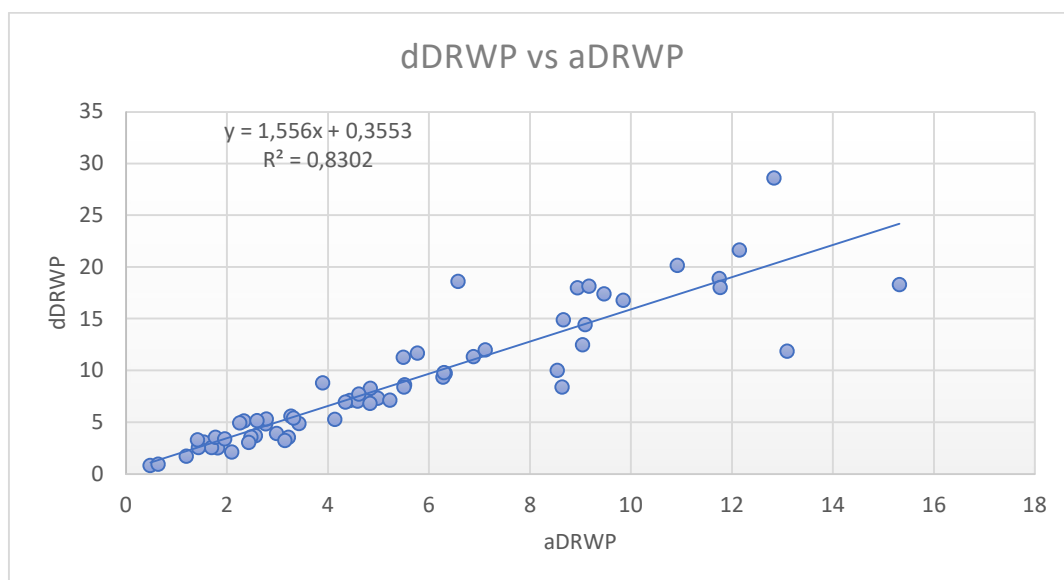
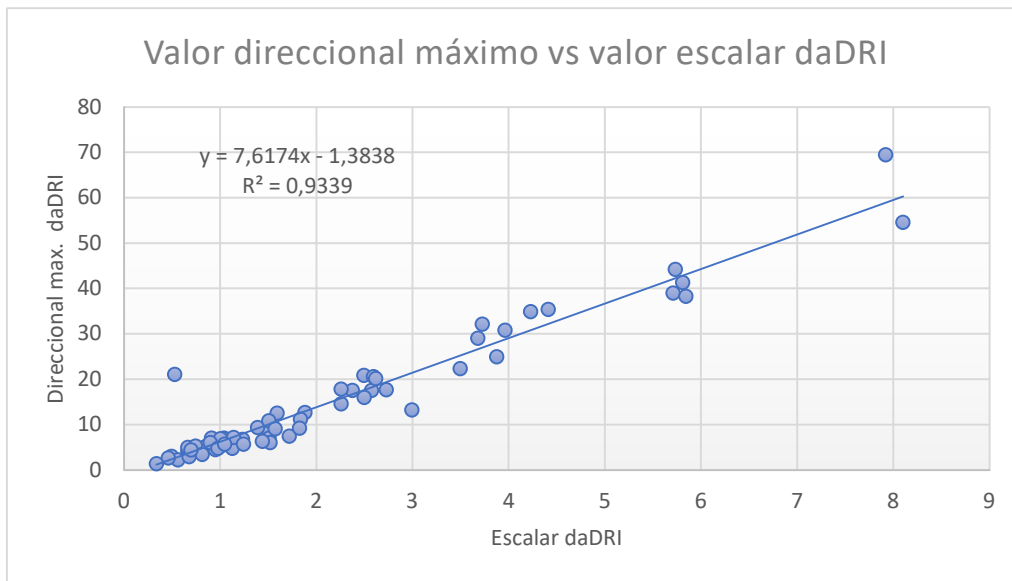


Gráfico 2 Relación entre los índices dDRWP y aDRWP.

Las implicaciones de esta relación son las mismas que en el caso anterior: Poder ampliar la red de toma de datos y ofrecer mapas más detallados que ayuden a una mejor caracterización de la exposición. En este caso, el coeficiente de correlación no es tan elevado, pudiendo ocasionar errores significativos a la hora de extrapolar valores. Sin embargo, esta extrapolación podría utilizarse para obtener resultados groseros en zonas sin datos de carácter diario.

### 5.8 Relación entre el valor escalar de daDRI y el máximo valor direccional daDRI para un emplazamiento

Tal y como puede observarse en el siguiente gráfico, existe además una fuerte correlación entre el valor escalar del índice daDRI y el valor máximo direccional de ese mismo índice para un mismo emplazamiento.



*Gráfico 3 Relación entre el valor escalar del índice daDRI y su valor direccional máximo.*

Esta correlación, tiene implicaciones muy interesantes, ya que conociendo el valor escalar del índice daDRI, puede conocerse el valor máximo de este índice de exposición en la orientación de fachada más desfavorable sin tener que realizar análisis de direcciones del viento ni cálculos para cada posible orientación. Ello permitiría caracterizar el valor de exposición más relevante y significativo, aun careciendo de registros de dirección de viento en los emplazamientos.

Por otra parte, pese a que con esta técnica no sería posible conocer la orientación más desfavorable, las fachadas de un edificio son por lo general iguales independientemente de la orientación, por lo que este valor direccional más desfavorable podría constituir el valor genérico de diseño aplicable.

#### 5.9 Relación entre daDRI y el valor de la pluviometría para un mismo emplazamiento.

El análisis de esta relación tiene como objetivo evaluar si es necesario realizar estudios que tengan en cuenta la simultaneidad entre viento y lluvia o si, por el contrario, es aceptable tomar el valor de lluvia por separado tal y como se estipula actualmente en el CTE, suponiendo, por tanto, que existe una fuerte relación entre los sucesos de precipitación y la ocurrencia de lluvia batiente.

A continuación, se presenta en la siguiente página un gráfico de dispersión que analiza este supuesto:

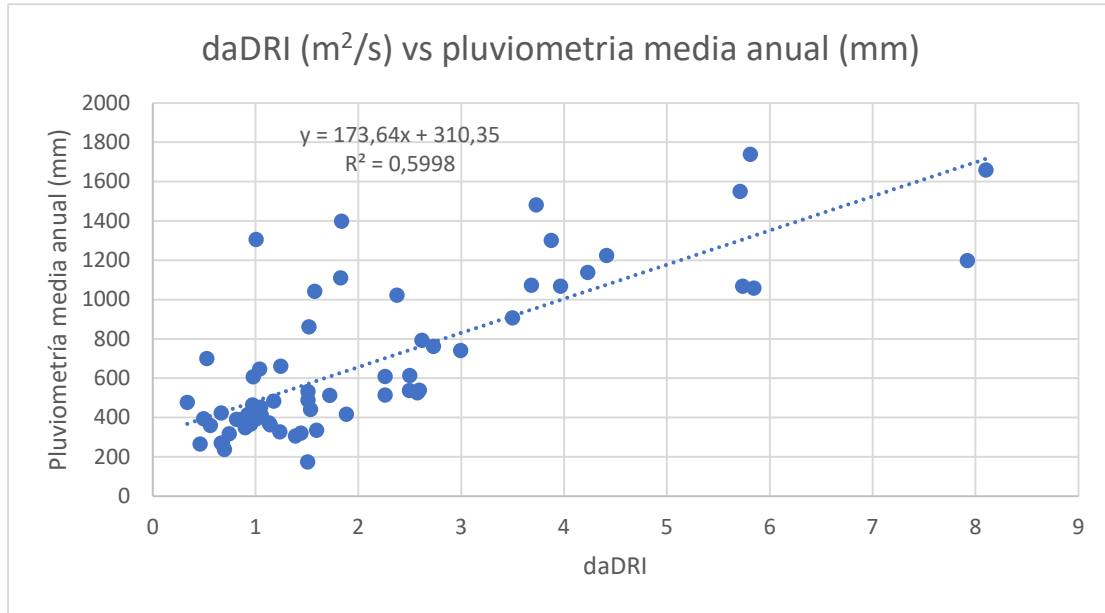


Gráfico 4 Relación entre el índice daDRI y la pluviometría para el mismo emplazamiento.

Como puede comprobarse, la relación entre ambos parámetros no es lo suficientemente consistente como para poder asumir la simplificación que se realiza en el CTE.

Esto implica la necesidad de realizar análisis específicos de lluvia batiente (daDRI) y de presión eólica simultánea (DRWP), poniendo en duda el acierto a la hora de tomar simplemente el valor de la pluviometría por separado tal y como hace el CTE (sin caracterizar simultáneamente registros de viento y lluvia).

#### 5.10 Análisis de índice de riesgo de penetración de agua (Risk index of Water Penetration) o RIWP.

Hasta ahora, la caracterización de la exposición a la penetración de agua atmosférica en fachadas ha venido determinada por los índices que señalan el valor de la lluvia batiente (daDRI) y la presión eólica simultánea (DRWP).

Una combinación de ambos valores para la obtención de un único valor que indique el riesgo existente da lugar a un índice más cómodo de manejar, el llamado índice de riesgo de penetración de agua (RIWP).

El primer paso para la obtención de este índice es normalizar el valor de cada índice respecto a los máximos y mínimos registrados para ambos:

$$daDRI_{normalizado\ i} = \frac{daDRI_i - daDRI_{mín}}{daDRI_{máx} - daDRI_{mín}} \quad [9]$$

$$DRWP_{a\ normalizado\ i} = \frac{DRWP_{ai} - DRWP_{mín}}{DRWP_{máx} - DRWP_{mín}} \quad [10]$$

Una vez normalizados, cada estación tendrá un valor para ambos índices que oscilará entre 0 y 1, por lo que es posible combinar dichos valores, otorgando el mismo peso a cada uno:

$$RIWP_j = \sqrt{(daDRI_{normalizado\ j})^2 + (DRWP_{a\ normalizado\ j})^2} \quad [11]$$



Con esto, cada emplazamiento adquiere un valor de riesgo de penetración de agua acotado entre 0 y raíz de 2, permitiendo comparar el riesgo conjunto que supone la combinación de ambos conceptos entre los diferentes emplazamientos analizados (Pérez Bella, et al., 2014):

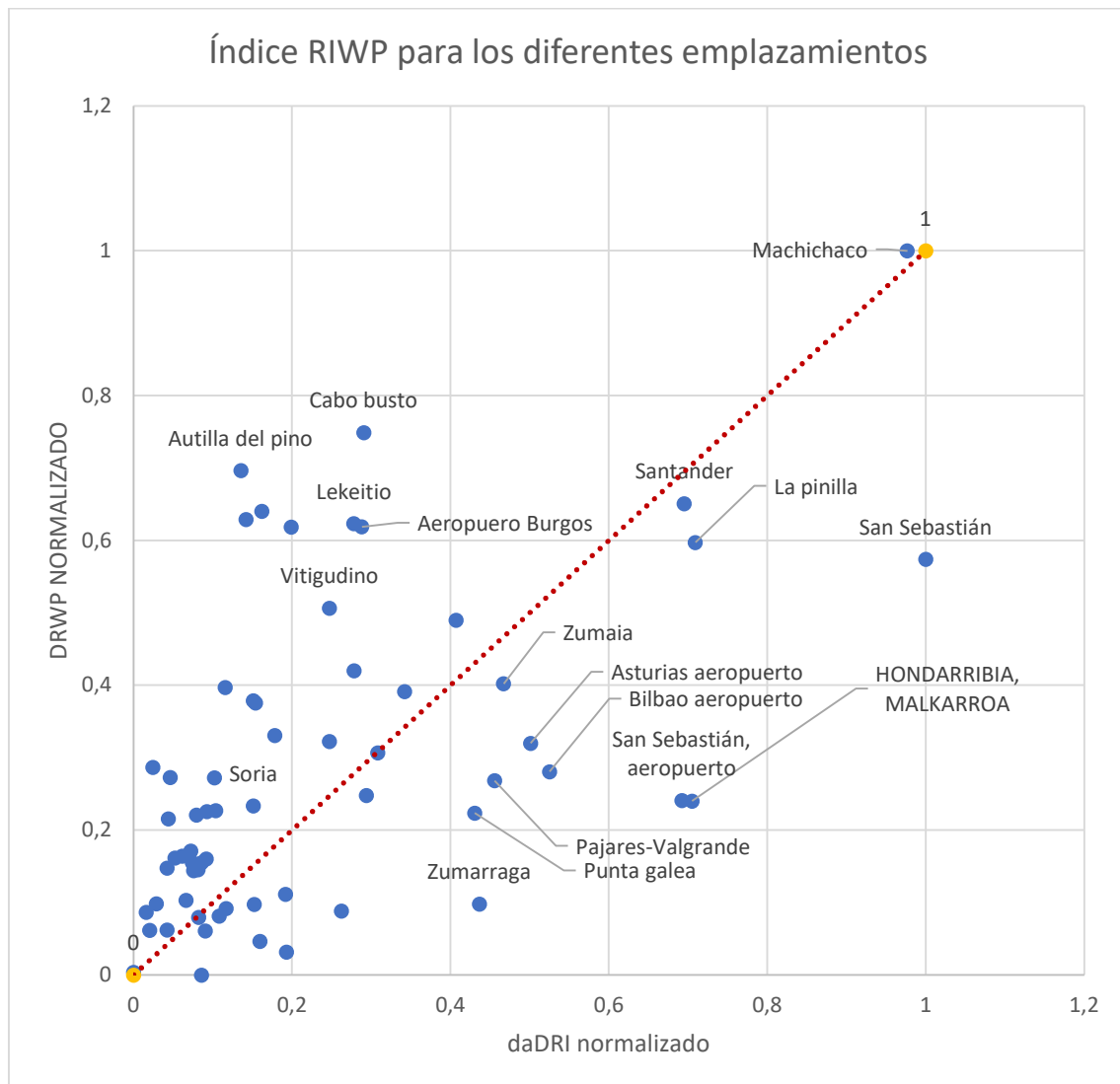


Gráfico 5 Índice RIWP para los diferentes emplazamientos.

El valor del índice RIWP es la distancia del punto de cada emplazamiento al origen. Por otra parte, si los valores están por encima de la bisectriz, indica que la presión eólica tiene una mayor influencia en el valor global del índice o viceversa.

Cabe destacar que este índice es un parámetro relativo a los emplazamientos analizados y por eso es válido únicamente para comparar los resultados en los emplazamientos analizados y detectar aquellos en los que la combinación de aporte de agua y presión simultánea en la fachada es especialmente desfavorable. De aumentar el número de estaciones analizadas, los valores máximos y mínimos podrían cambiar y con ello todos los índices relativos de riesgo.

## 6. Conclusiones

A partir de los datos facilitados por la red de climatología diaria de AEMET se ha conseguido caracterizar el fenómeno de la lluvia batiente en la parte central del tercio norte peninsular siguiendo una metodología ya empleada en estudios previos (Pérez Bella, et al., 2012) que adapta los estándares internacionales a los datos diarios disponibles para el estudio.

A diferencia de estudios anteriores, se ha podido contar por primera vez con una base de datos uniforme, fiable y actualizada elaborada con todas las garantías para la caracterización de la exposición en el territorio español.

Haciendo uso de esta base de datos (AEMET OpenData), se han podido elaborar mapas de exposición a partir de los datos recabados en cada emplazamiento. Estos mapas podrían sustituir a los mapas usados en el CTE DB-HS1 en el caso de que el estudio se ampliase al resto del territorio nacional para determinar el grado de impermeabilidad requerido en un emplazamiento concreto. Además, se facilitan los datos obtenidos en el presente estudio para facilitar dicha labor de ampliación en el futuro (8.2 Fichas resumen).

Además de los mapas de exposición y gracias al análisis direccional, se han podido elaborar mapas que indican la orientación más desfavorable a lo largo de toda el área de estudio para los dos parámetros que caracterizan la exposición a la penetración de agua atmosférica en fachadas.

Finalmente, se han analizado las diferentes relaciones entre los indicadores de exposición, obteniendo correlaciones que permiten determinar índices necesarios para la caracterización de la exposición a la penetración de agua atmosférica cuando no existen suficientes datos climáticos a partir de otros índices que requieren una menor cantidad de datos.

En el caso de la correlación obtenida para determinar el máximo valor direccional de daDRI a partir del valor escalar de daDRI, la combinación de esta correlación con los mapas de orientación anteriormente mencionados en este apartado hace que sea posible conocer la dirección y el valor direccional máximo de cada uno de los índices en cualquier punto del mapa.

## 7. Bibliografía

Nafría García, D. A. y otros, 2013. *Atlas agroclimático Castilla y León*, s.l.: Junta de Castilla y León (Instituto tecnológico Agrario de Castilla y León) & Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Agencia estatal de Meteorología).

AEMET, 2017. *Preguntas Frecuentes del Servicio AEMET OpenData*. [En línea]  
Available at: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/docs/FAQs130917.pdf>

AEMET, 2020. *AEMET OpenData*. [En línea]  
Available at: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>

AEMET, 2020. *Climatología - Meteo Navarra*. [En línea]  
Available at: <http://meteo.navarra.es/climatologia/>

AEMET, 2020. *Red de observación de superficie y en altura*. [En línea]  
Available at: [http://www.aemet.es/es/idi/observacion/observacion\\_convencional](http://www.aemet.es/es/idi/observacion/observacion_convencional)

Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011. *Comportamiento higrotérmico de los edificios – Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia*, Madrid: AENOR.

Cuadrat, J. M. & Vicente Serrano, S. M., 2008. Características especiales del clima en La Rioja modelizadas a partir de sistemas de información geográfica y técnicas de regresión espacial.. *Zubía Monográfico*, pp. 119-141.

Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio ambiente, 2007. *Atlas Climático de Aragón*, Zaragoza: Gobierno de Aragón.

euskalmet, 2011. *Euskalmet - agencia vasca de climatología*. [En línea]  
Available at: [https://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5921/es/contenidos/informacion/clima\\_euskadi/es\\_9759/r01hRedirectCont/contenidos/informacion/cla\\_clasificacion/es\\_7264/es\\_clasificacion.html](https://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5921/es/contenidos/informacion/clima_euskadi/es_9759/r01hRedirectCont/contenidos/informacion/cla_clasificacion/es_7264/es_clasificacion.html)

González, G., 2014. *Cantabria*. [En línea]  
Available at: <https://sites.google.com/site/plantrabajocantabria/los-climas-de-cantabria>

Ministerio de Fomento, 2019. *Documento Básico HS 1 Protección frente a la humedad*, s.l.: s.n.

Pérez Bella, J. M., Cano Suñen, E. & Domínguez Hernández, J., 2014. *Pantas y Servicios Industriales. Ordenación diseño e implantación de espacios industriales*.. Zaragoza: CopyCenter.

Pérez Bella, J. M., Domínguez Hernández, J., Cano Suñen, E. & del Coz Díaz, J. J., 2014. Aplicación al código técnico de la edificación de avances en el estudio de la exposición a la humedad de fachadas. *Tecnología de la construcción Vol.89 nº 4*, pp. 1-10.

Pérez Bella, J. M. y otros, 2015. Revisión y mejora de la caracterización del grado de impermeabilidad requerido por el CTE DB-HS1 para fachadas de edificación.. *Informes de la Construcción*, pp. 4-5.

Pérez Bella, J. M. y otros, 2014. Procedure for a detailed territorial assessment of wind-driven rain and driving-rain wind pressure and its implementation to three Spanish regions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.

Pérez Bella, J. M., Domínguez Hernández, J. & Rodríguez, B., 2012. Estimation of the exposure to moisture in Spain from daily wind and rain data. *Building and Environment* Vol.57, pp. 259-260.

Pérez, A. F., 1994. *El Clima de Asturias*. s.l.:Prensa Ibérica S.A..

Román, F. J. S. S., 2008. *Distribuciones estadísticas*, Salamanca.: Departamento de Geología, Universidades de Salamanca.

## 8. Anexos

### 8.1 Índice de figuras y fichas

Tabla 1 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas (tabla 2.5 del DB-HS1 del CTE) .....	6
Tabla 2 Soluciones para los cerramientos en función del grado de impermeabilidad según el DB-HS1 del CTE.....	6
Tabla 3 Resumen de los datos de la estación 1059X en Punta Galea, Vizcaya [1/2]. .....	29
Tabla 4 Resumen de los datos de la estación 1059X en Punta Galea, Vizcaya [2/2]. .....	30
Tabla 5 Resultados .....	108
Ilustración 1 Zonas pluviométricas en España según la DB-HS1 incluida en el CTE.....	5
Ilustración 2 Diferentes zonas de valor básico de la velocidad de viento según la DB-HS1 incluida en el CTE .....	5
Ilustración 3 Esquema de la formación de lluvia batiente por acción del viento. ....	10
Ilustración 4 Duración del periodo de humedecimiento tras la lluvia batiente. ....	12
Ilustración 5 Jardín meteorológico de estación meteorológica semiautomática [AEMET]. .....	16
Ilustración 6 Entrada de borrascas en Asturias y su interacción con la cordillera cantábrica. ....	19
Ilustración 7 Principales zonas climatológicas en la Comunidad Foral de Navarra. ....	20
Ilustración 8 Zonas climatológicas en Cantabria. ....	20
Ilustración 9 Zonas climatológicas del País Vasco.....	21
Ilustración 10 Zonas climatológicas en Castilla y León. ....	22
Ilustración 11 Los tipos de clima en Aragón.....	23
Ilustración 12 Valor del índice daDRI [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] en el centro-norte de la Península Ibérica. ....	25
Ilustración 13 Orientación más desfavorable al índice daDRI en centro-norte de la Península Ibérica.....	27
Ilustración 14 Valor del índice dDRWPI [Pa] en el centro-norte de la Península Ibérica.....	28
Ilustración 15 Orientación más desfavorable al índice dDRWPI en centro-norte de la Península Ibérica.....	28
Gráfico 1 Relación entre los índices daDRI y aaDRI. ....	31
Gráfico 2 Relación entre los índices dDRWP y aDRWP. ....	32
Gráfico 3 Relación entre el valor escalar del índice daDRI y su valor direccional máximo.....	33
Gráfico 4 Relación entre el índice daDRI y la pluviometría para el mismo emplazamiento.....	34
Gráfico 5 Índice RIWP para los diferentes emplazamientos. ....	35
Figura 1 Clasificación climática Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	15
Ficha 1 1002Y Navarra.....	42
Ficha 2 1014 Guipúzcoa .....	43
Ficha 3 1014A Guipúzcoa .....	44
Ficha 4 1024E Guipúzcoa.....	45
Ficha 5 1037Y Guipúzcoa.....	46
Ficha 6 1041A Guipúzcoa .....	47
Ficha 7 1050J Guipúzcoa .....	48
Ficha 8 1055B Vizcaya .....	49

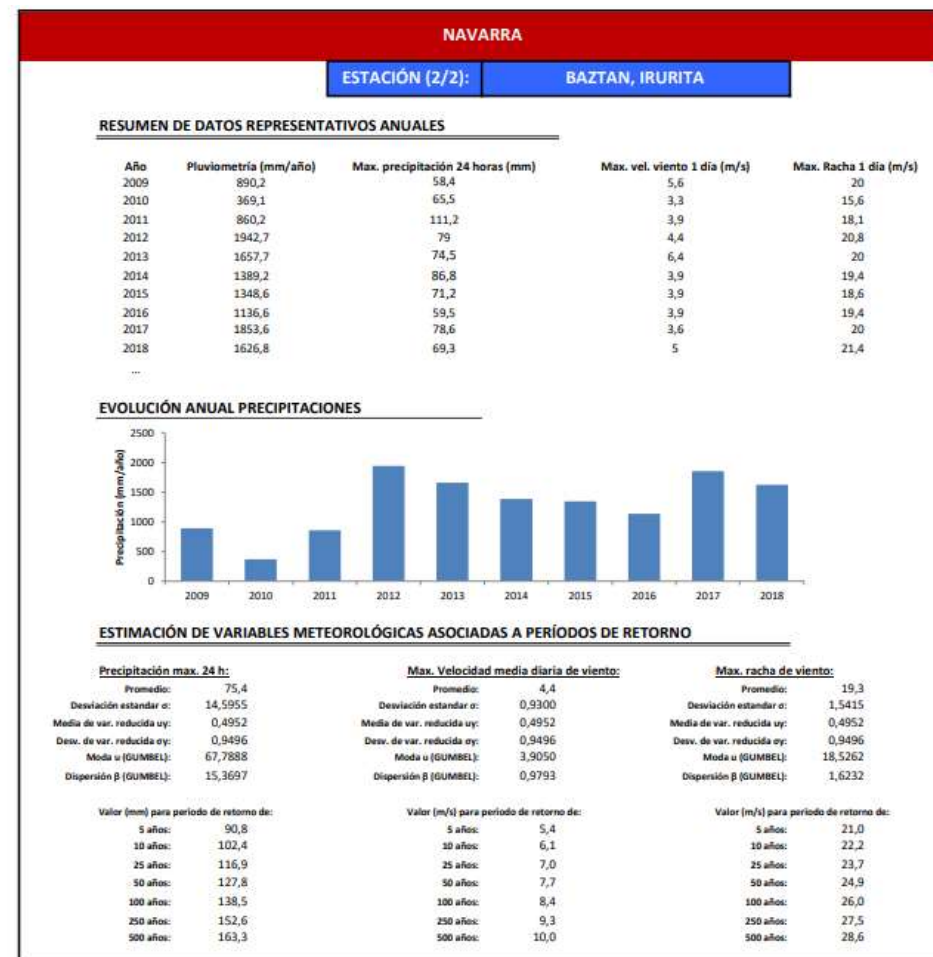
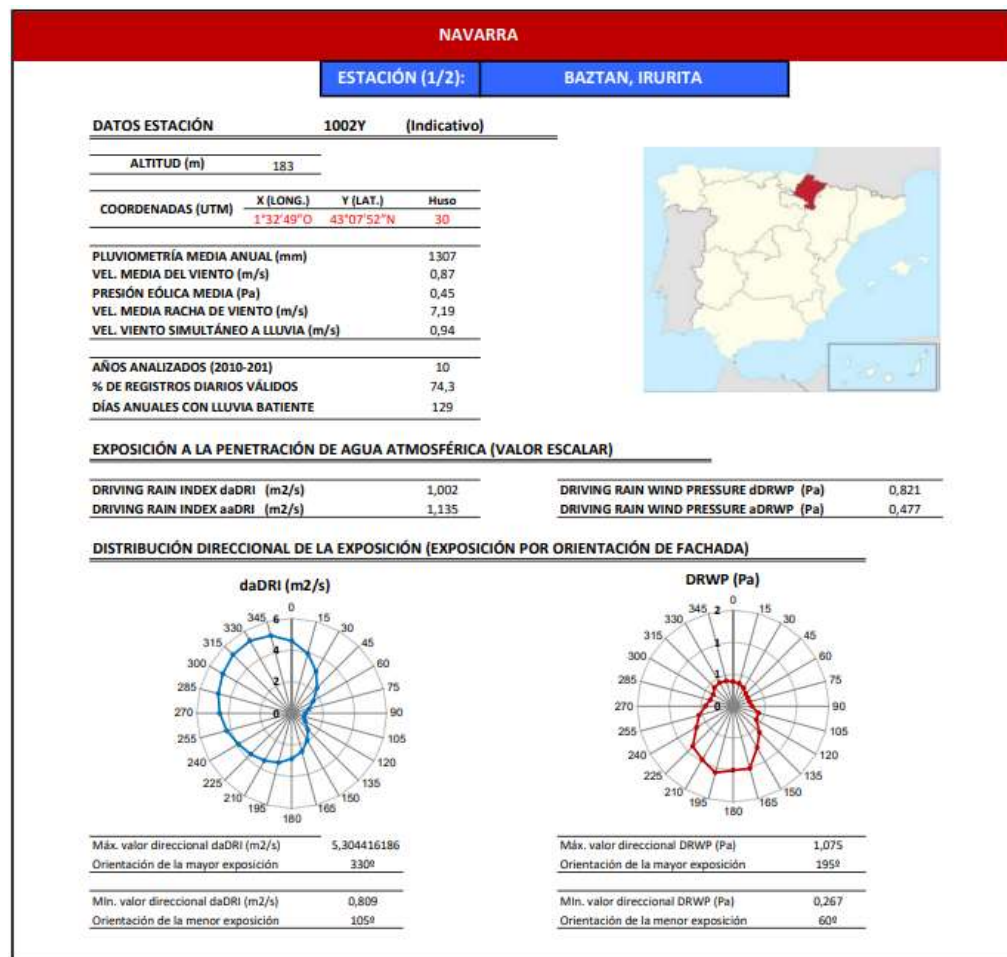
Ficha 9 1057B Vizcaya .....	50
Ficha 10 1059X Vizcaya .....	51
Ficha 11 1078I Vizcaya .....	52
Ficha 12 1082 Vizcaya .....	53
Ficha 13 1111 Cantabria.....	54
Ficha 14 1210X Asturias .....	55
Ficha 15 1212E Asturias .....	56
Ficha 16 1221D Asturias.....	57
Ficha 17 1249I Asturias .....	58
Ficha 18 1238U Asturias.....	59
Ficha 19 1525 Ávila.....	60
Ficha 20 1549 León.....	61
Ficha 21 2030 Soria .....	62
Ficha 22 2503X Valladolid .....	63
Ficha 23 2117D Burgos.....	64
Ficha 24 2150H Segovia.....	65
Ficha 25 2235U Palencia .....	66
Ficha 26 2331 Burgos .....	67
Ficha 27 2374X Palencia .....	68
Ficha 28 2400E Palencia .....	69
Ficha 29 2422 Valladolid .....	70
Ficha 30 2444 Ávila.....	71
Ficha 31 2465 Segovia .....	72
Ficha 32 2539 Valladolid .....	73
Ficha 33 2614 Zamora .....	74
Ficha 34 2630X León.....	75
Ficha 35 2661 León.....	76
Ficha 36 2737E León.....	77
Ficha 37 2755X Zamora .....	78
Ficha 38 2775X Zamora .....	79
Ficha 39 2867 Zamora .....	80
Ficha 40 2870 Salamanca .....	81
Ficha 41 2916A Salamanca.....	82
Ficha 42 2946X Salamanca .....	83
Ficha 43 3391 Ávila.....	84
Ficha 44 8368U Teruel.....	85
Ficha 45 9001D Cantabria .....	86
Ficha 46 9091o Álava .....	87
Ficha 47 9091R Álava .....	88
Ficha 48 9111 Burgos .....	89
Ficha 49 9170 La Rioja.....	90
Ficha 50 9201K Huesca.....	91
Ficha 51 9208E Huesca.....	92
Ficha 52 9236X Navarra .....	93
Ficha 53 9244X Zaragoza.....	94
Ficha 54 9294E Navarra.....	95
Ficha 55 9390 Zaragoza .....	96
Ficha 56 9394X Zaragoza.....	97

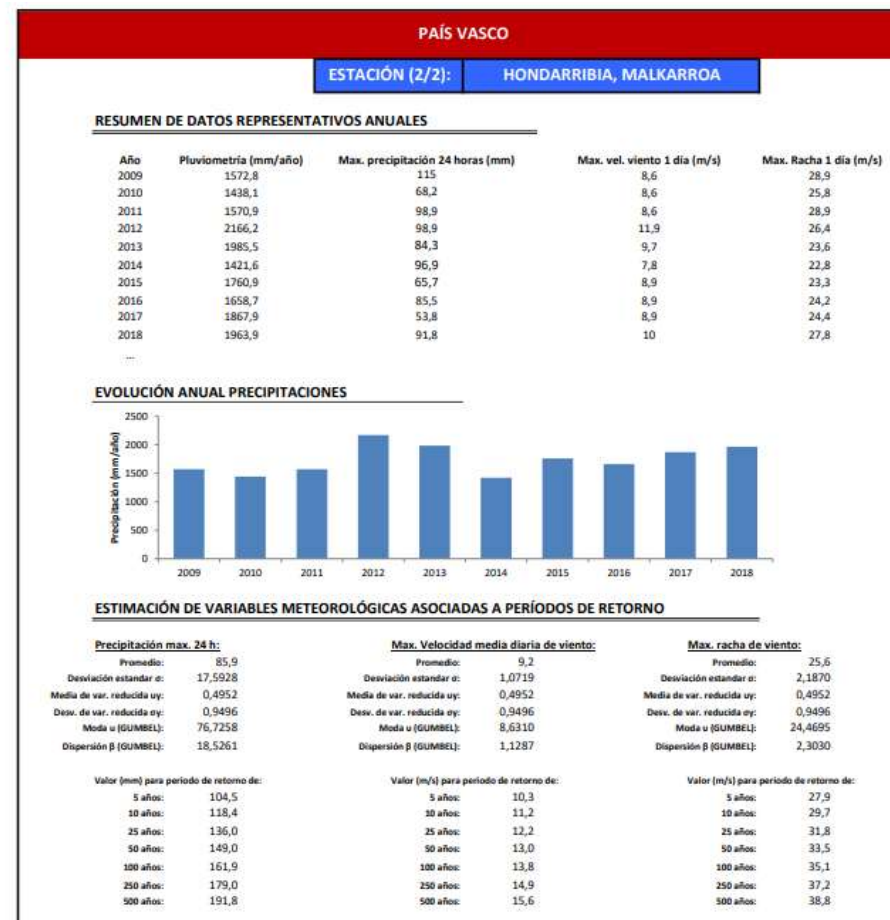
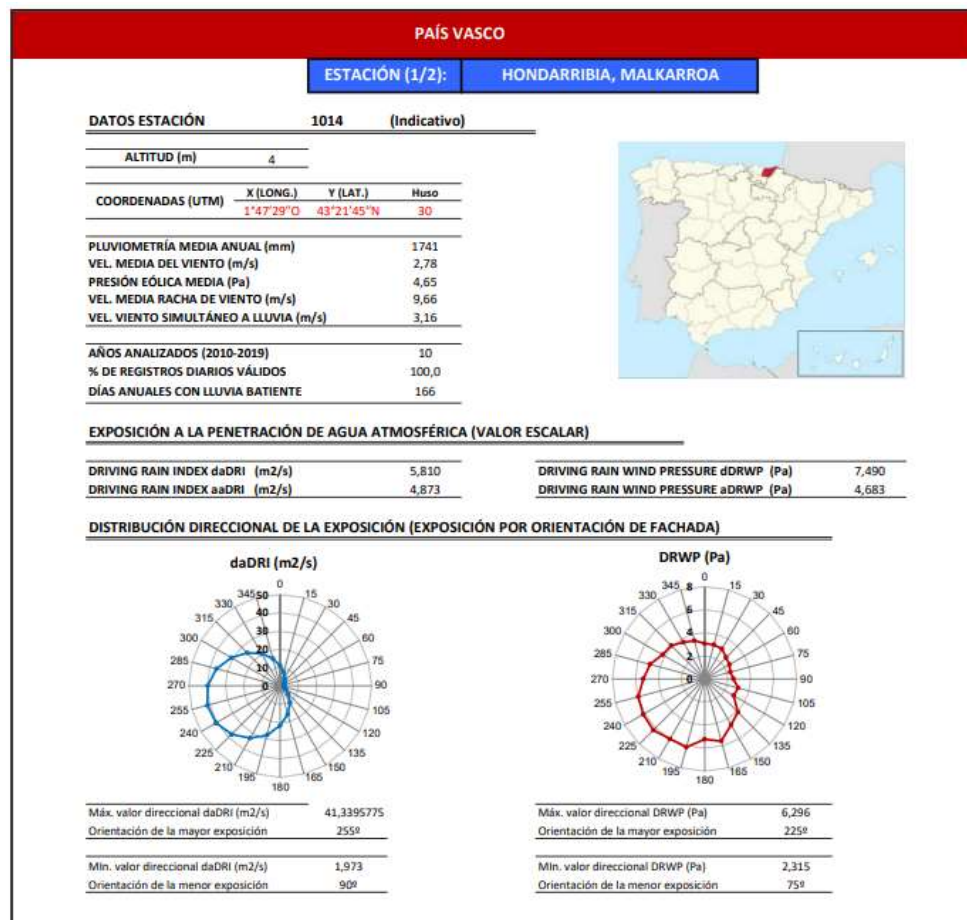
Ficha 57 9434 Zaragoza .....	98
Ficha 58 9434P Zaragoza .....	99
Ficha 59 9573X Teruel .....	100
Ficha 60 9576C Zaragoza .....	101
Ficha 61 9784P Huesca.....	102
Ficha 62 9814A Huesca .....	103
Ficha 63 9831I Teruel .....	104
Ficha 64 9898 Huesca.....	105

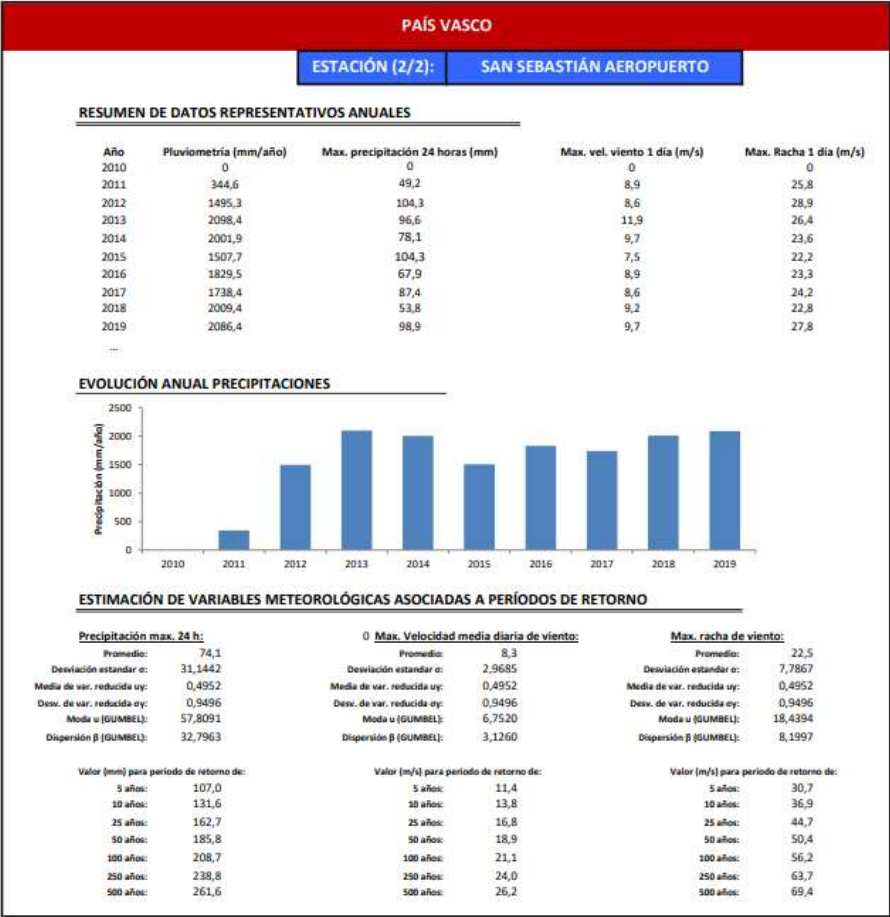
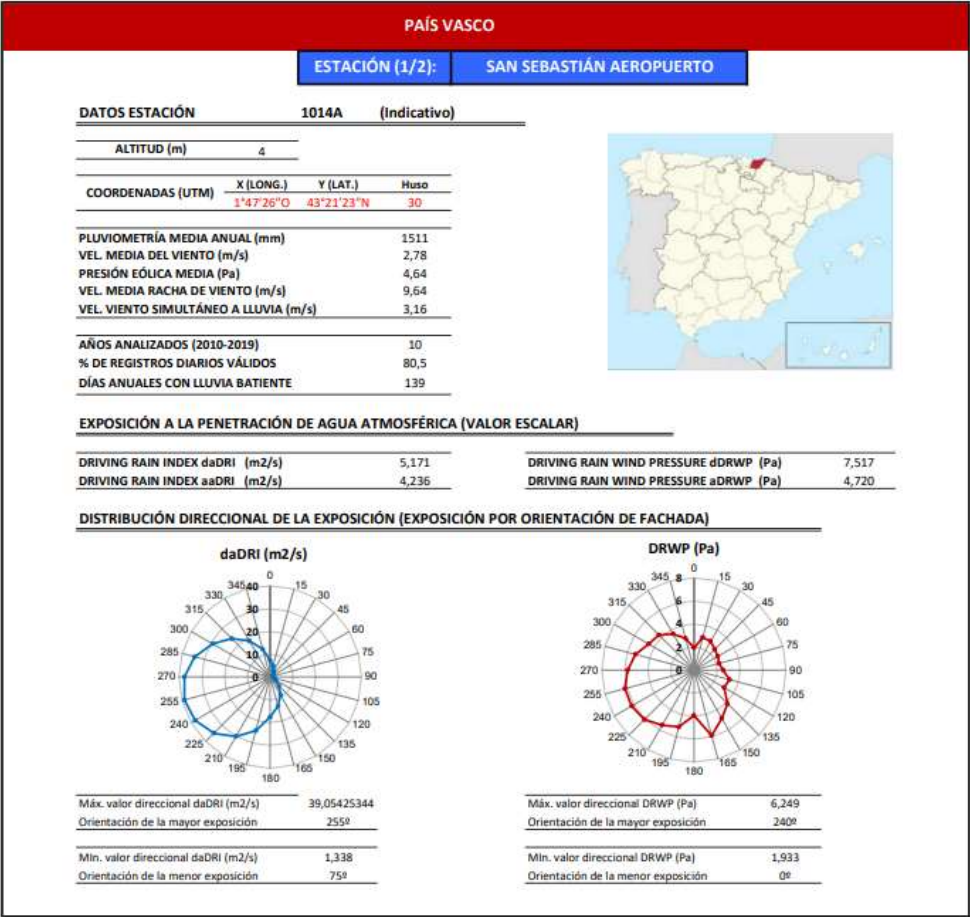
## 8.2 Fichas resumen

En las siguientes páginas, se muestran las fichas con los principales parámetros obtenidos de cada una de las estaciones:

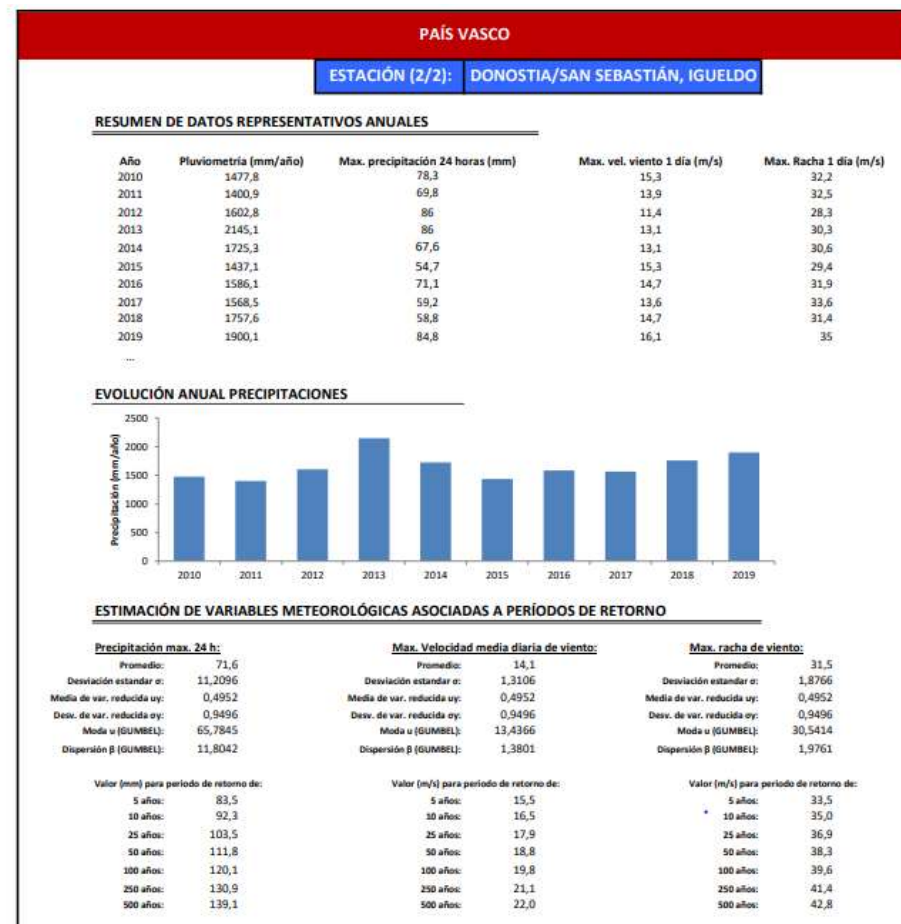
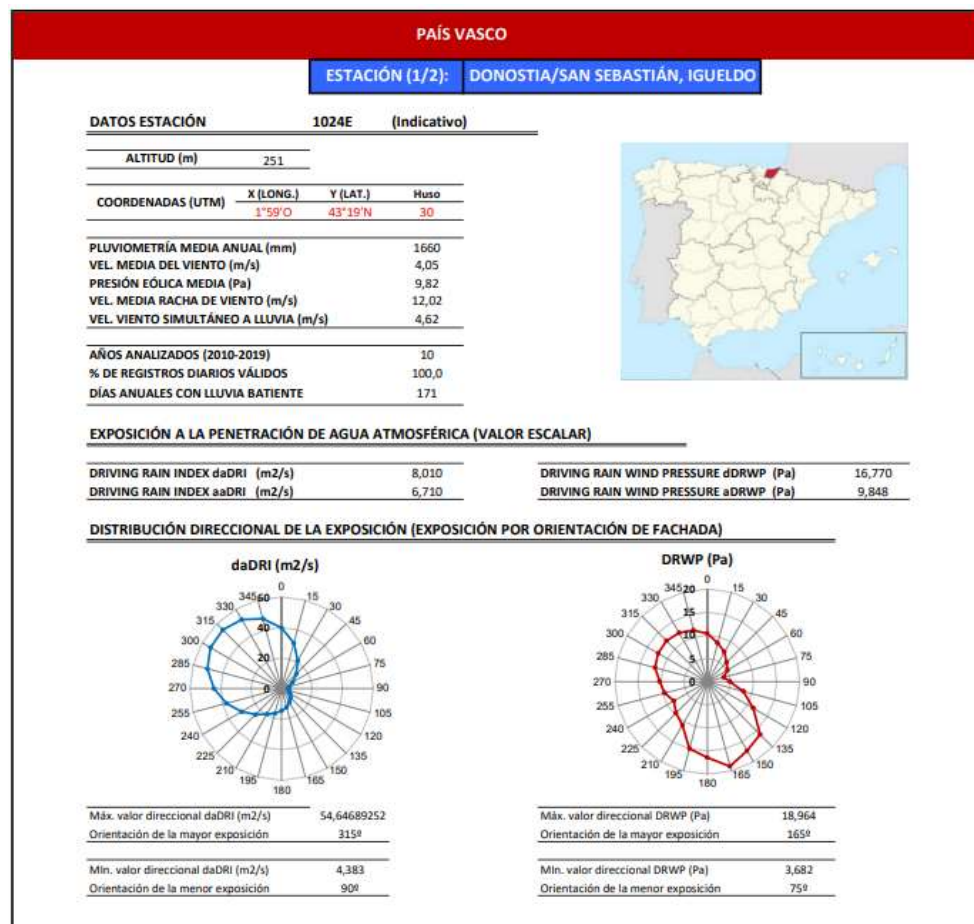


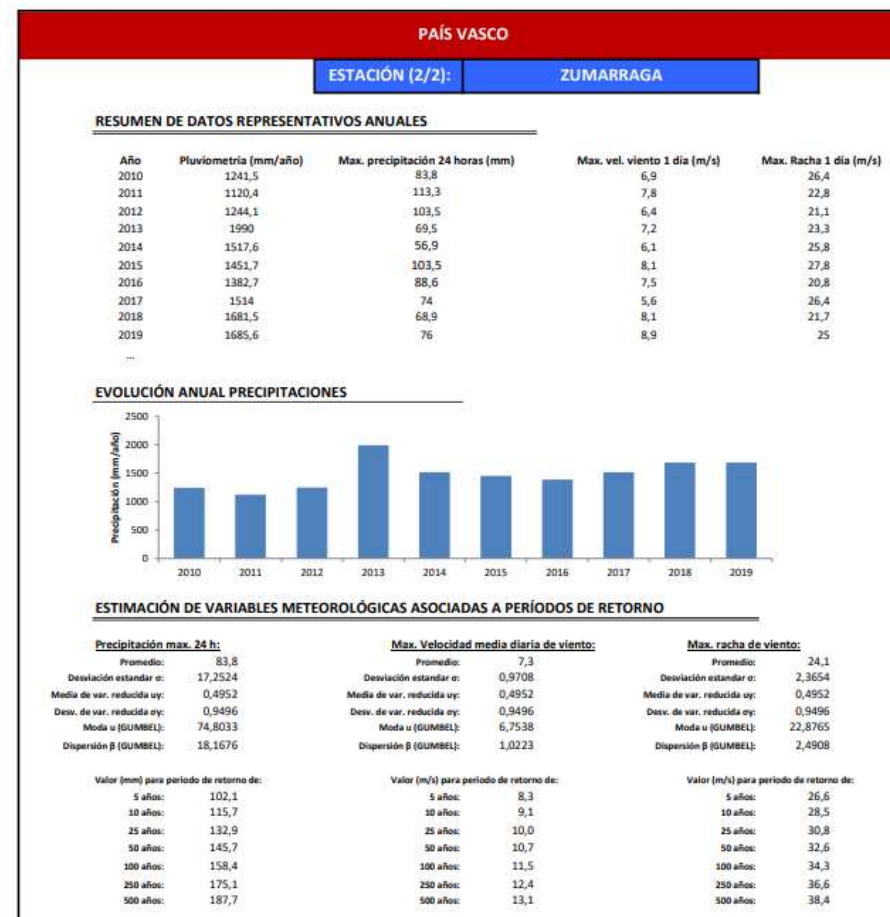
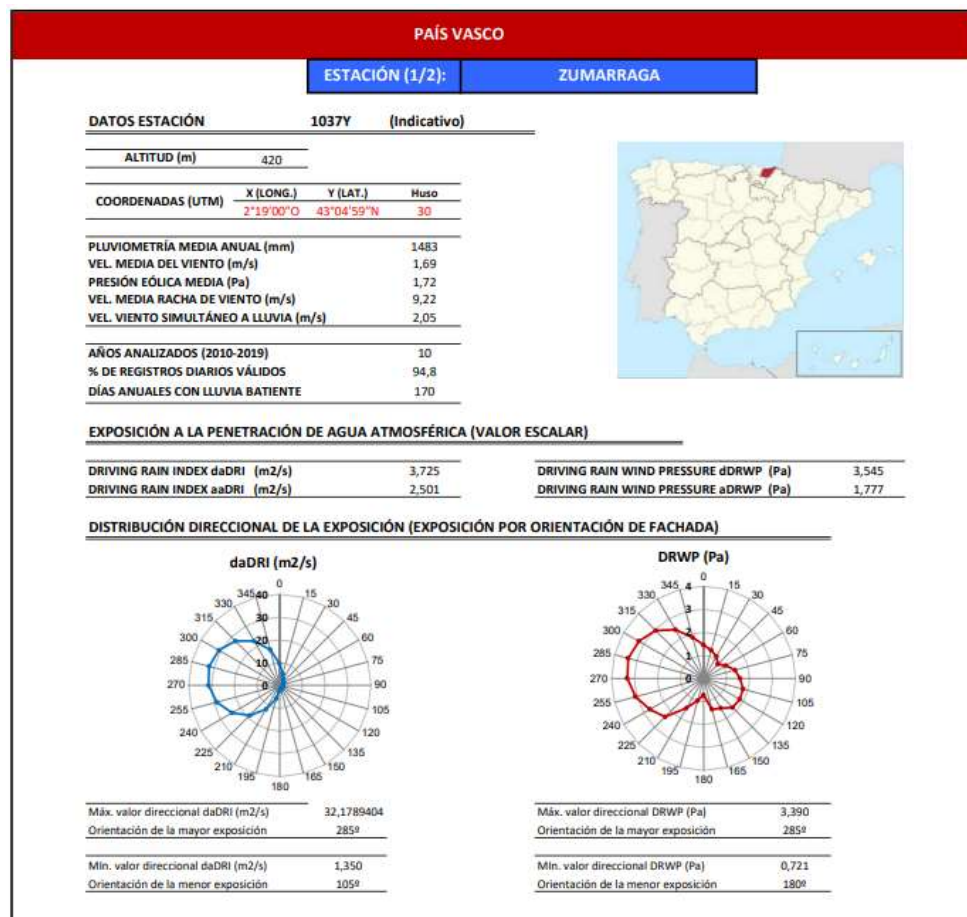


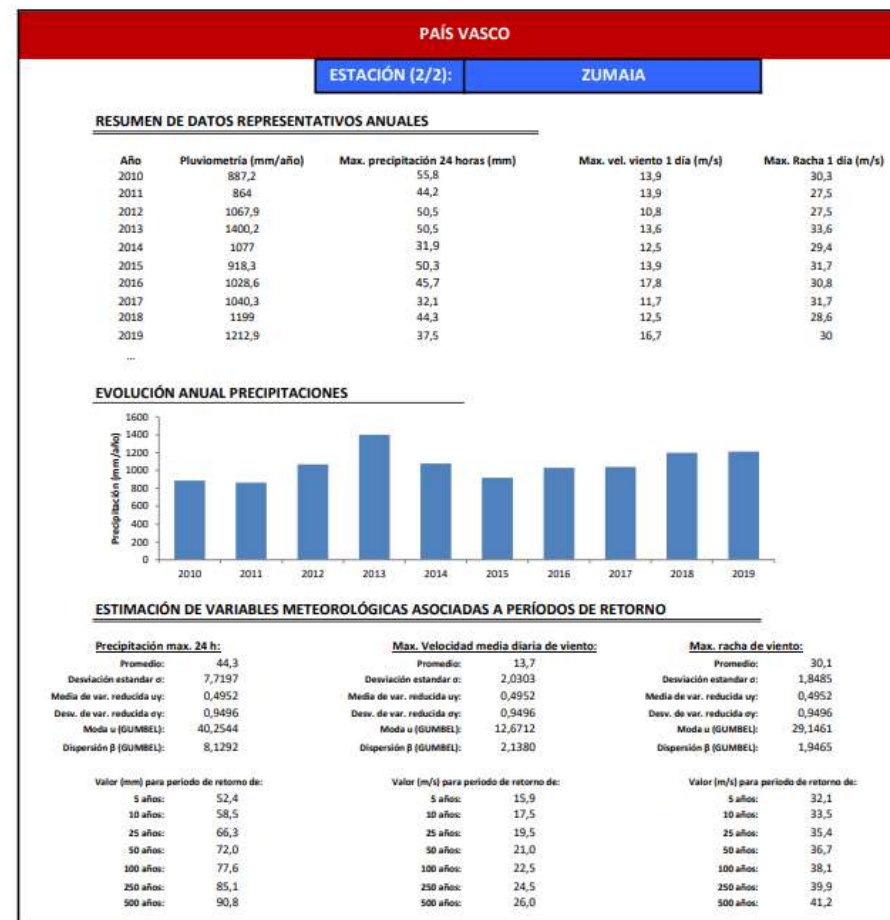
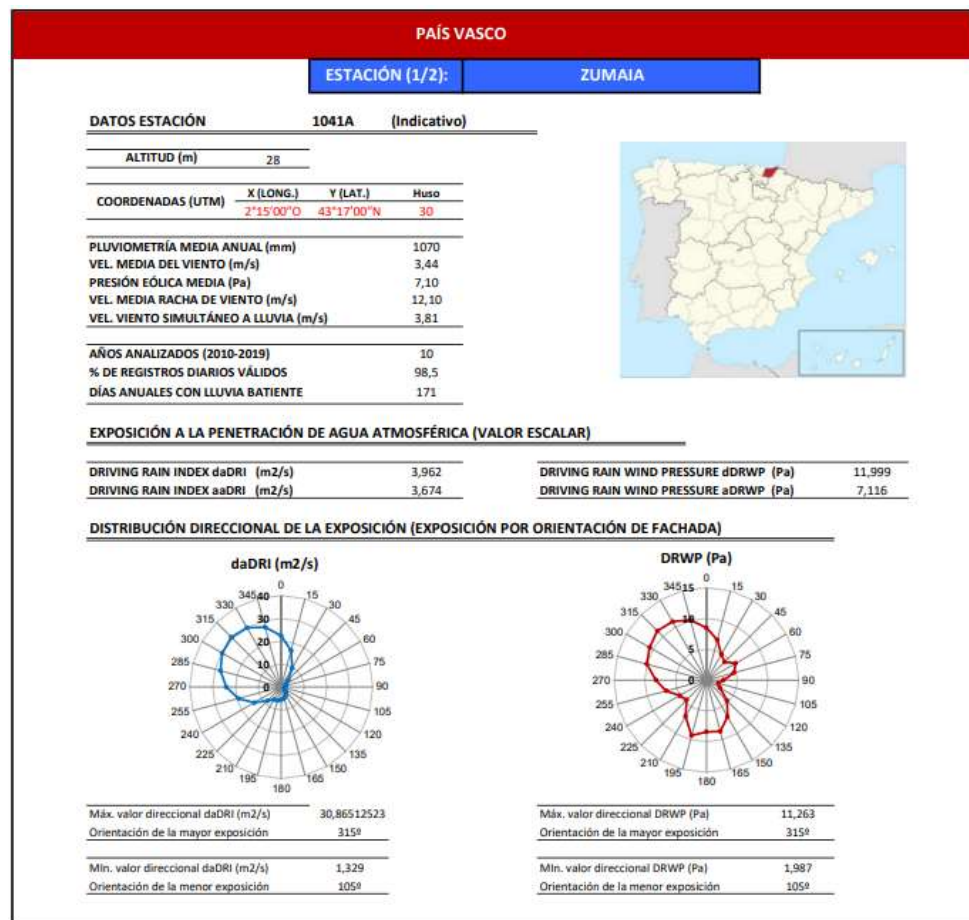


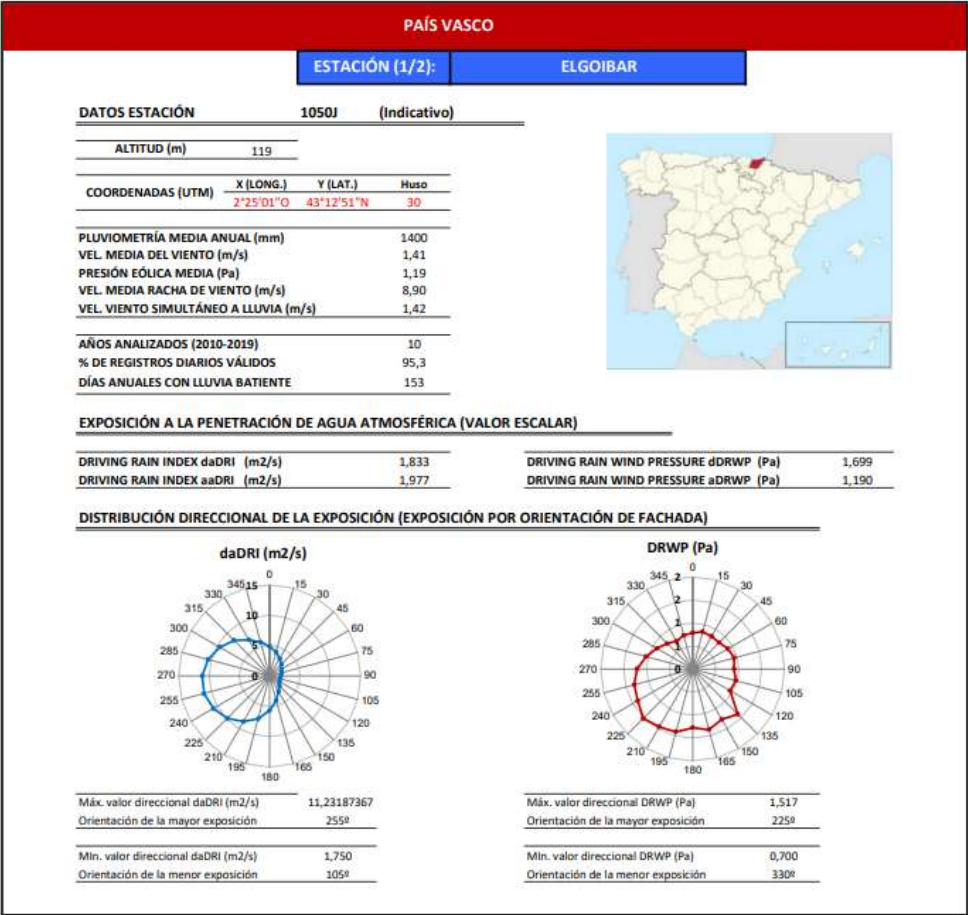




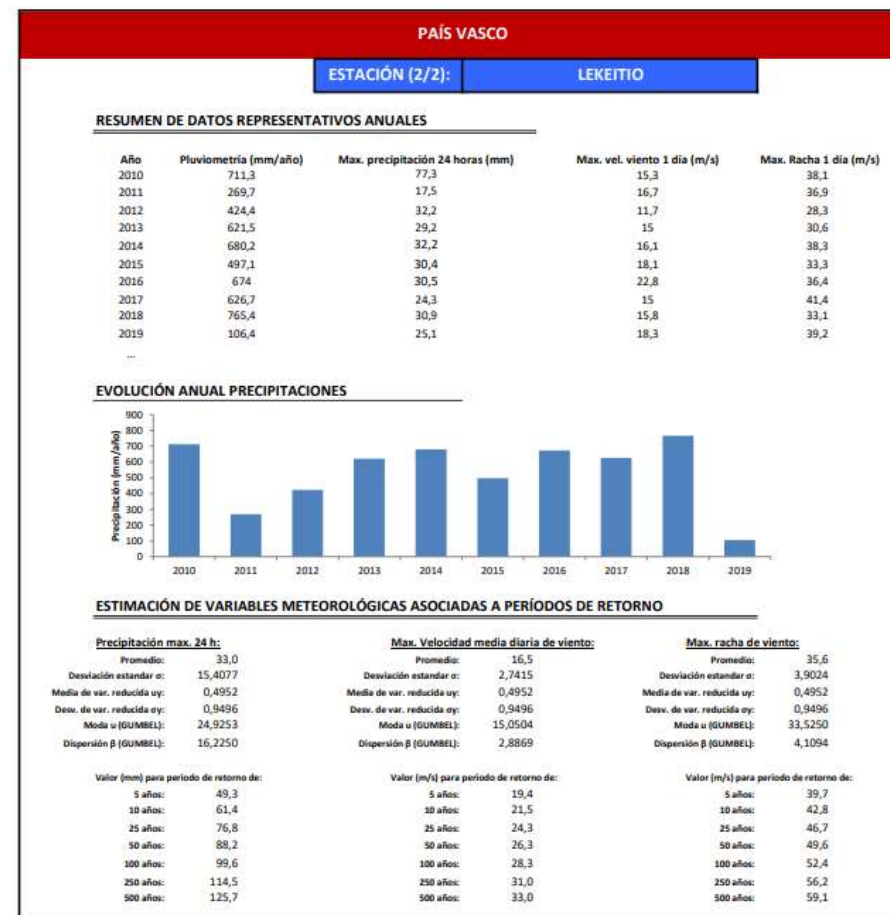
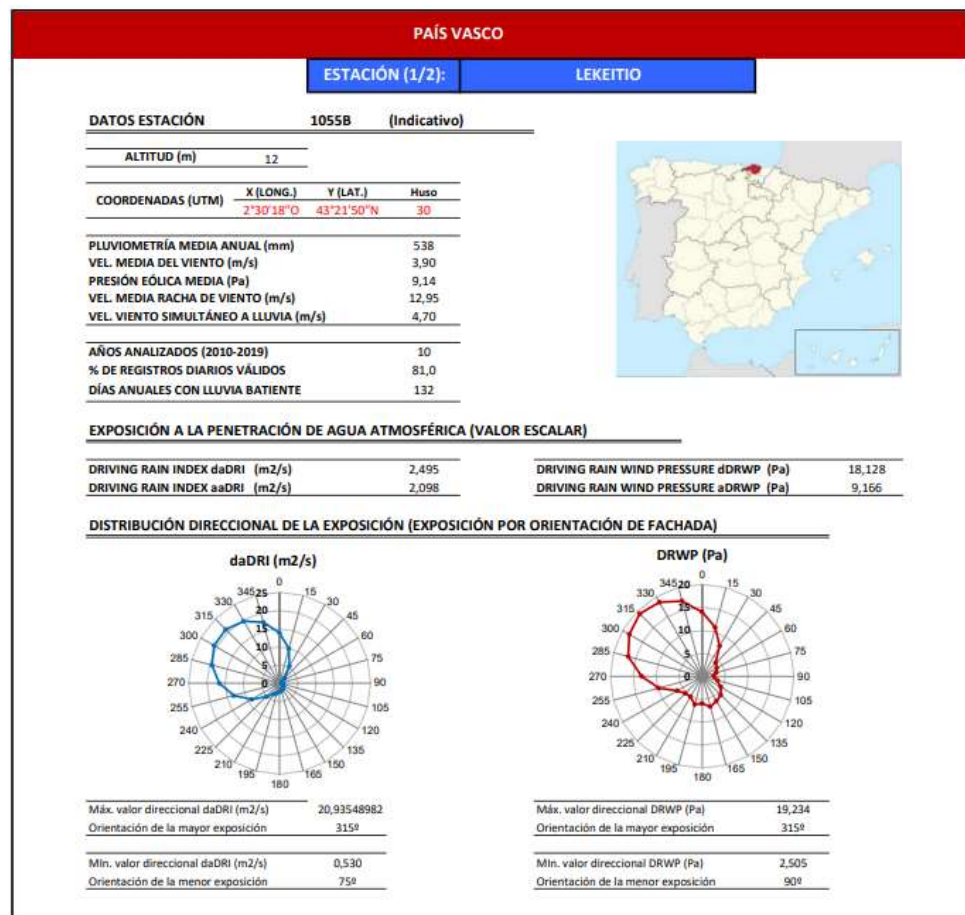


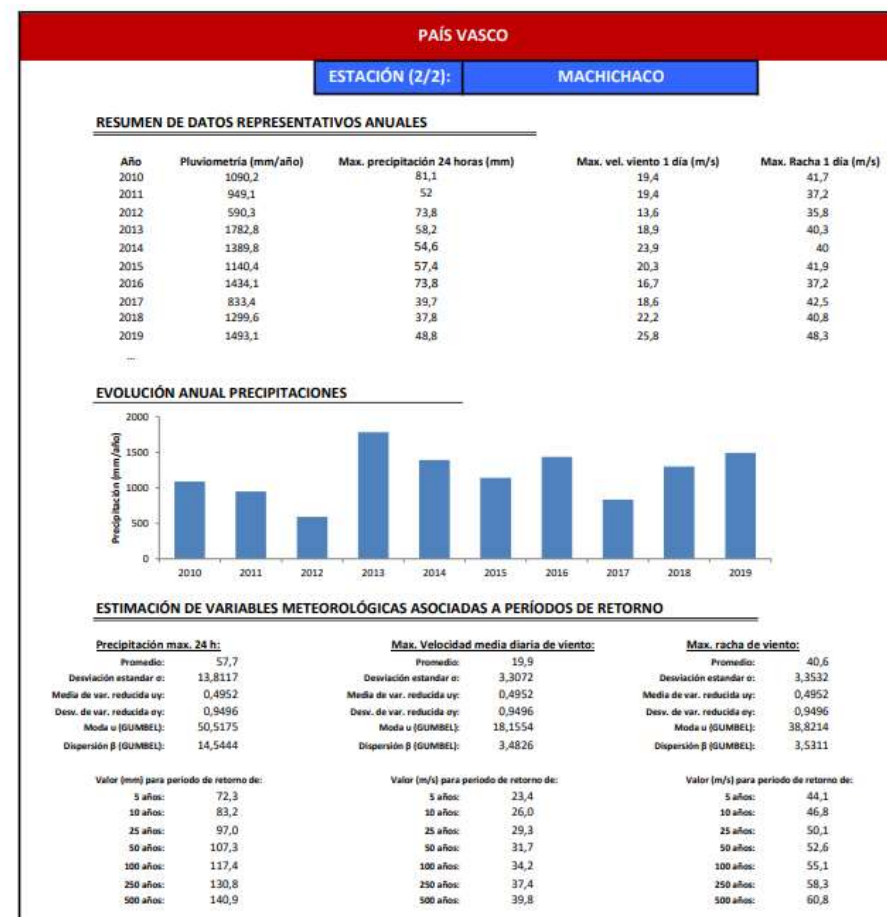
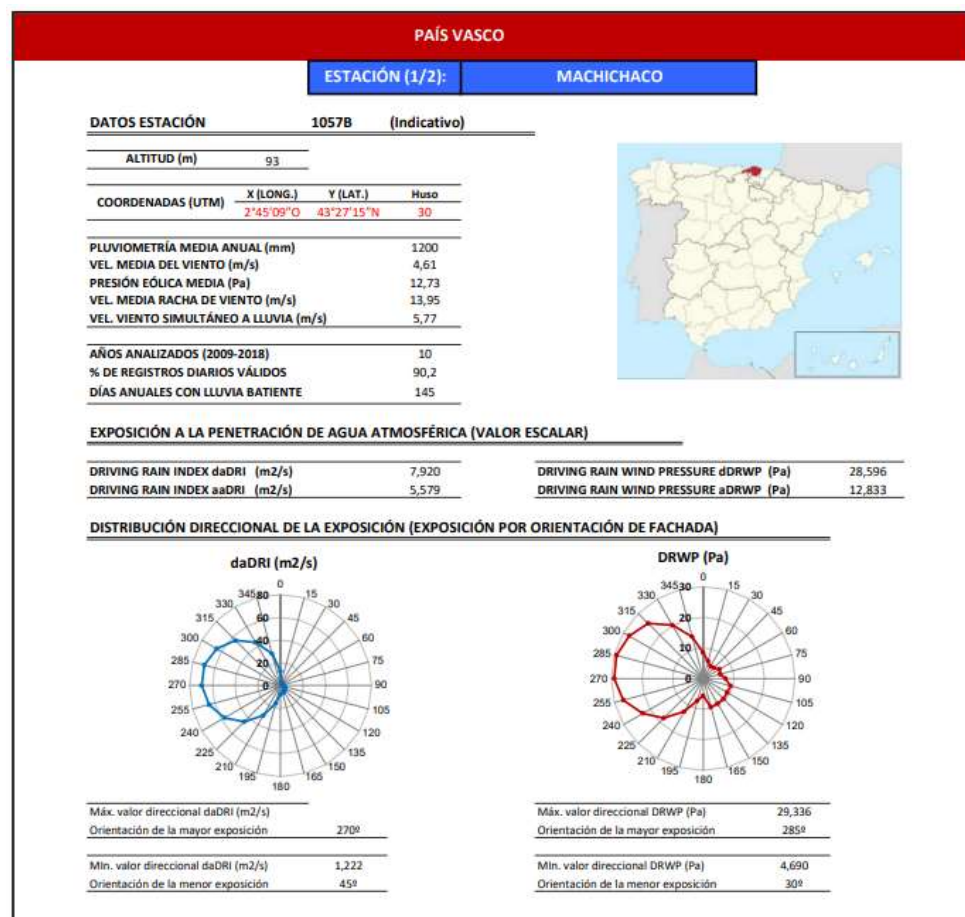


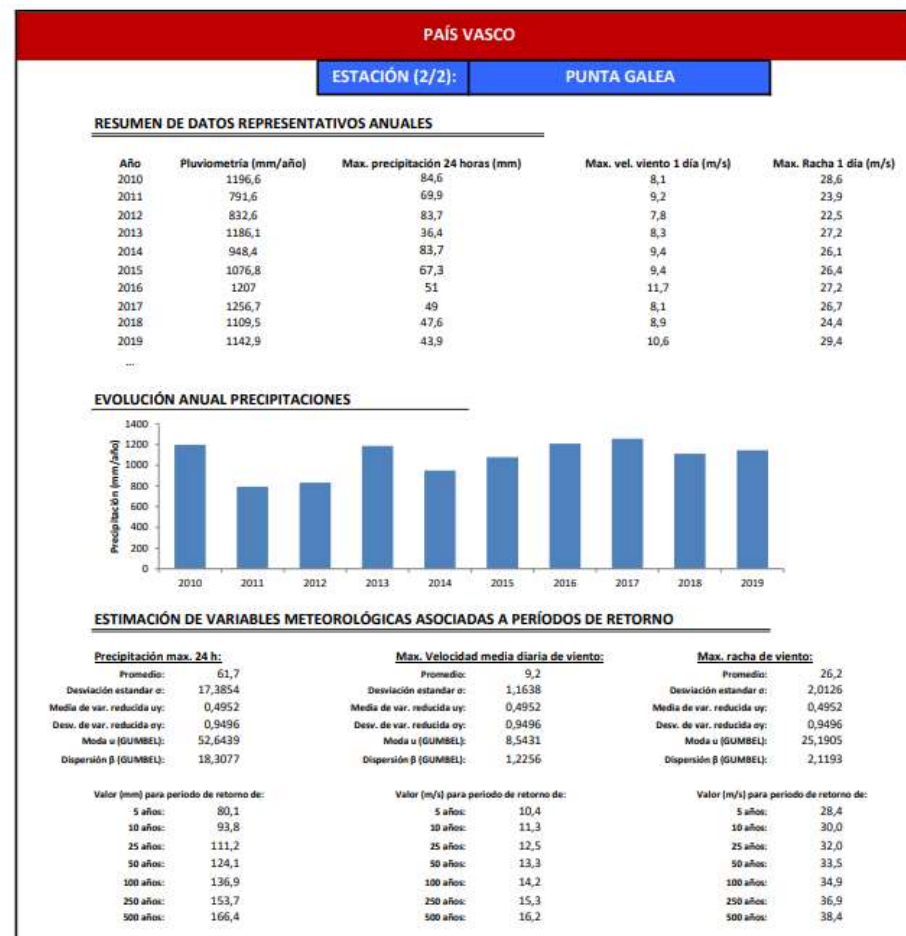
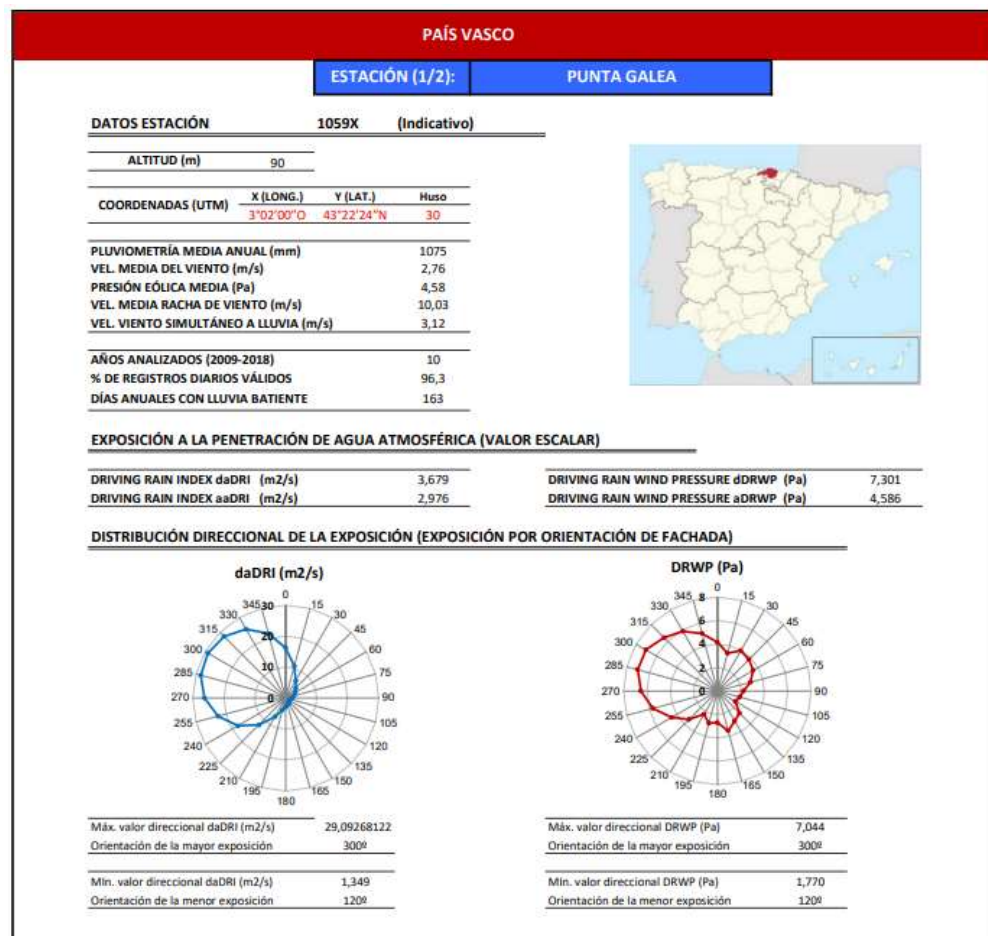


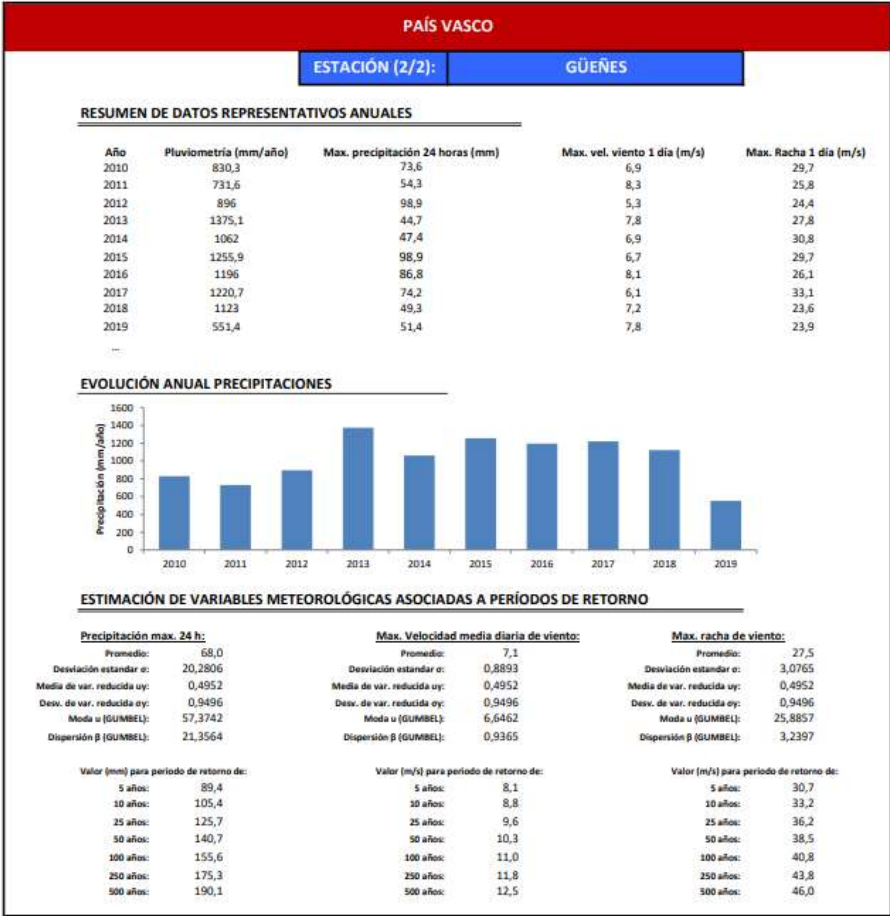
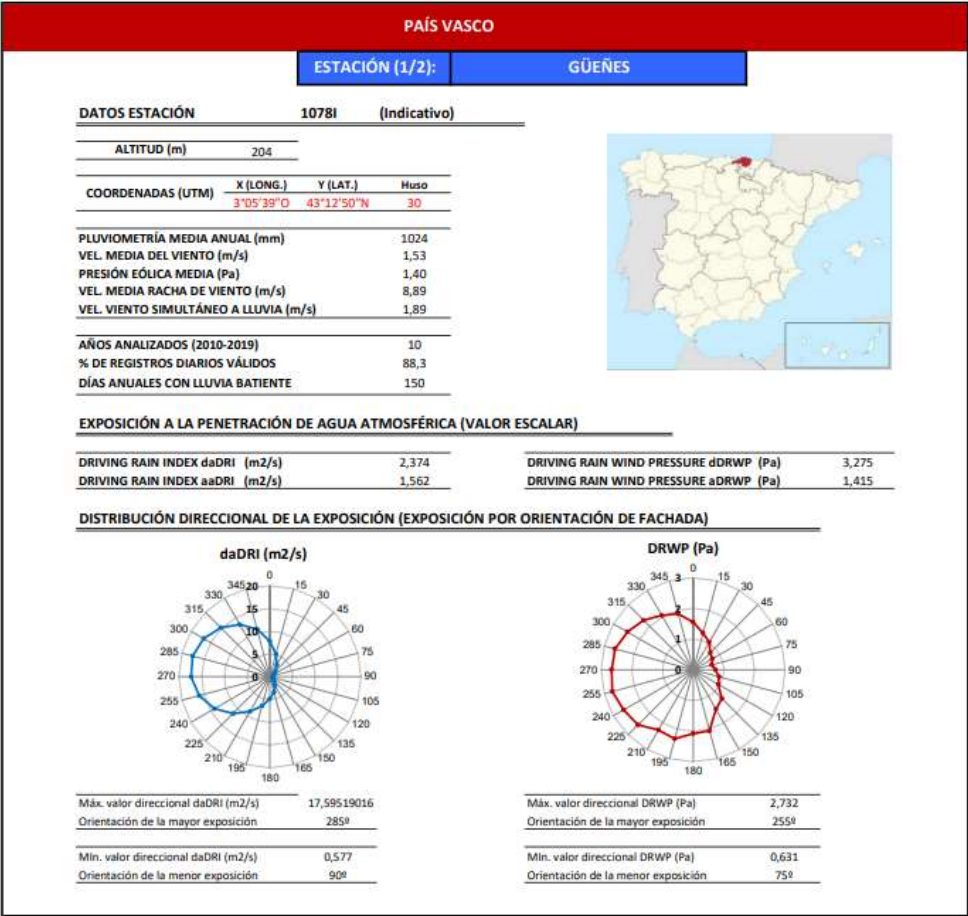




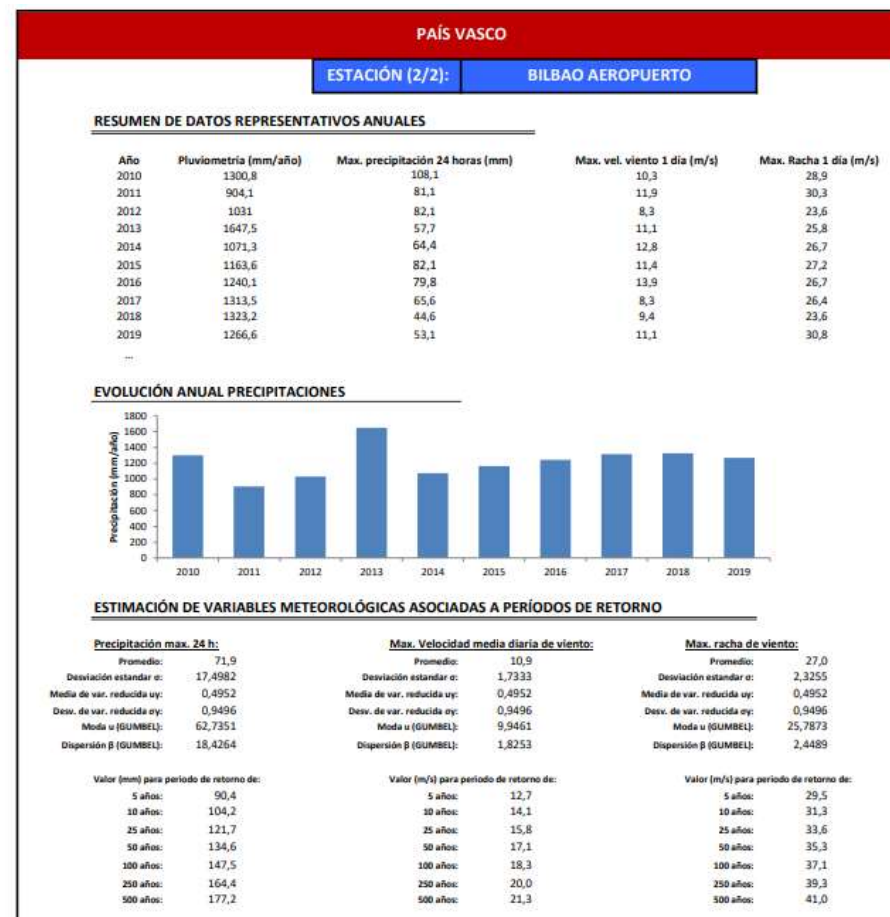
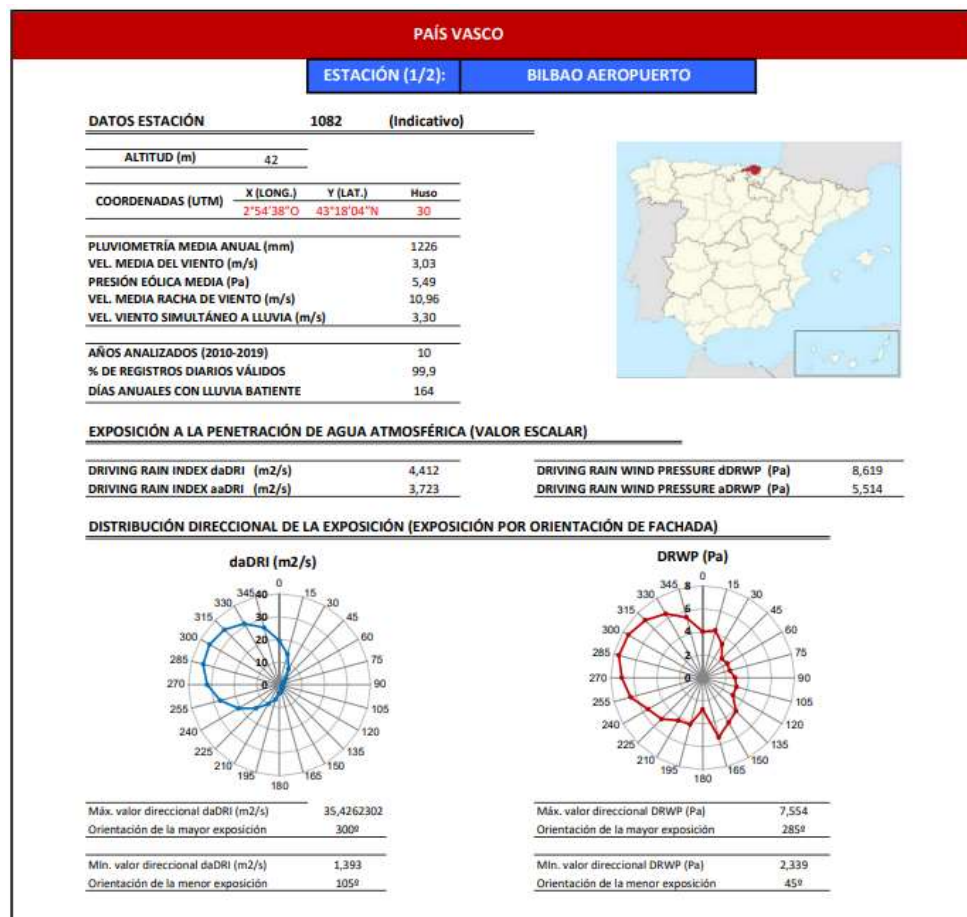


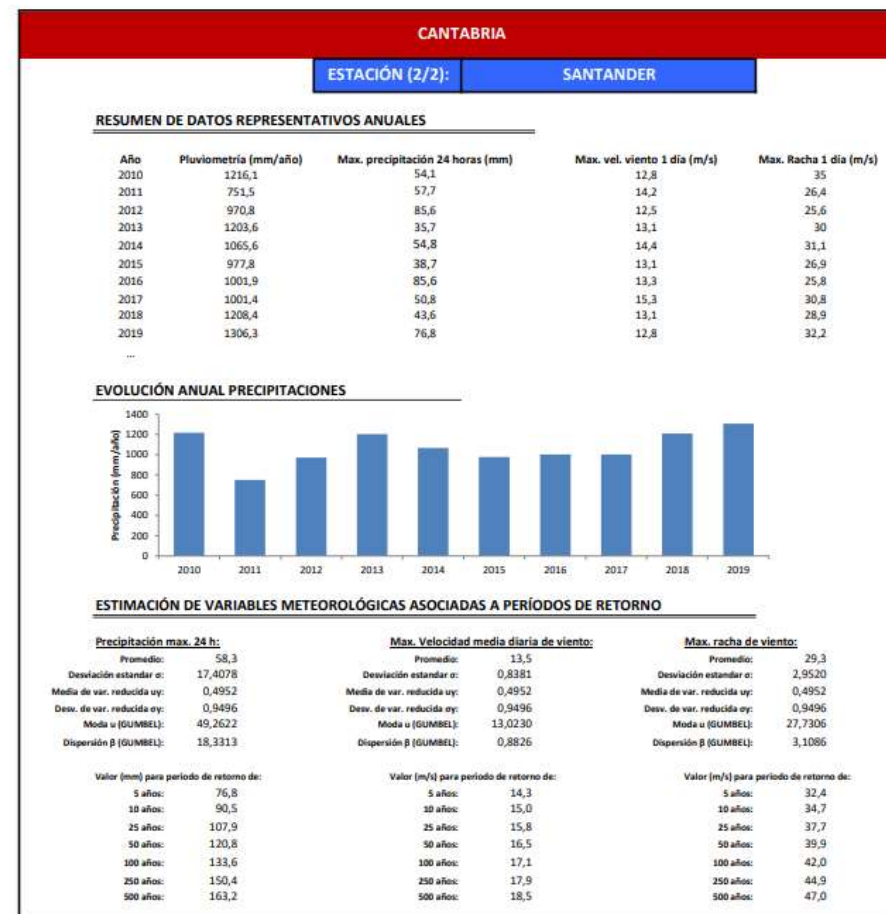
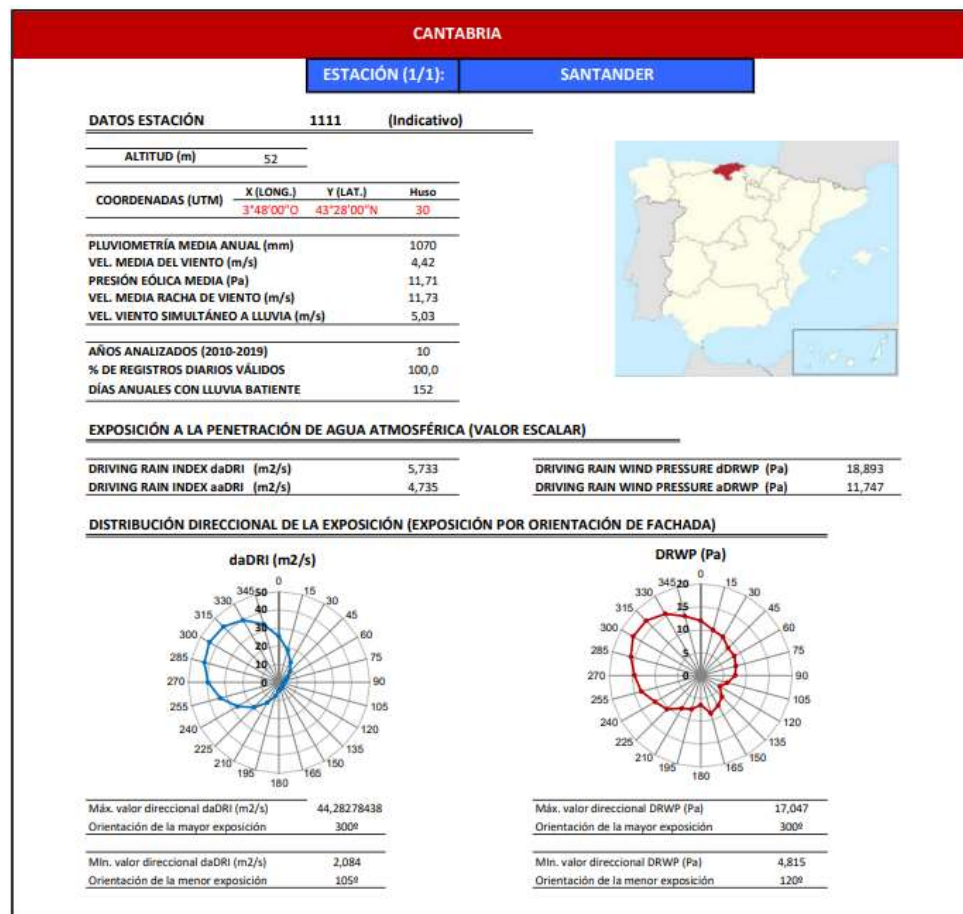




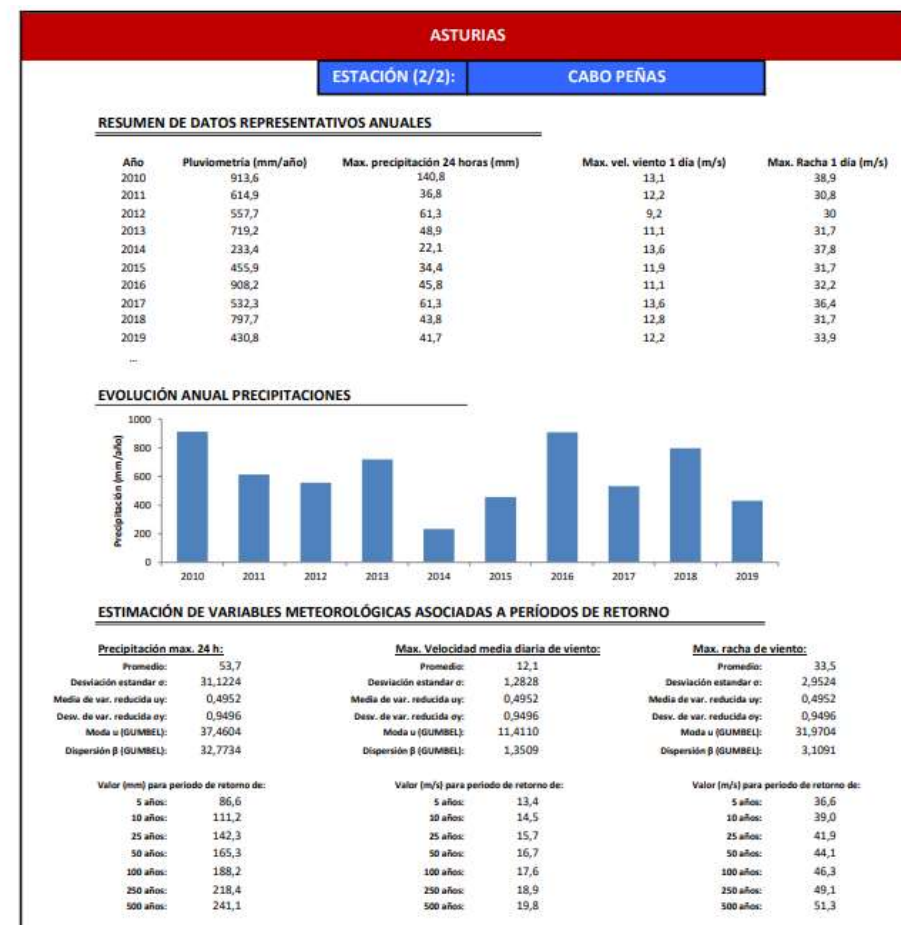
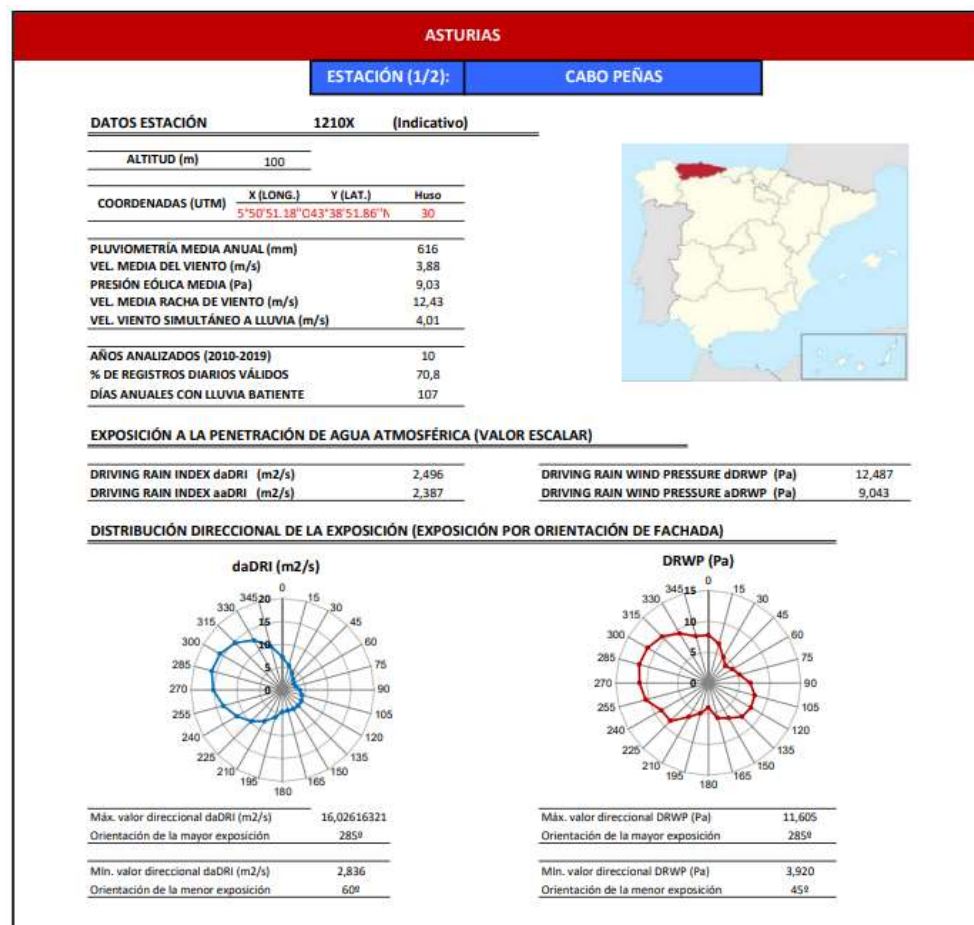


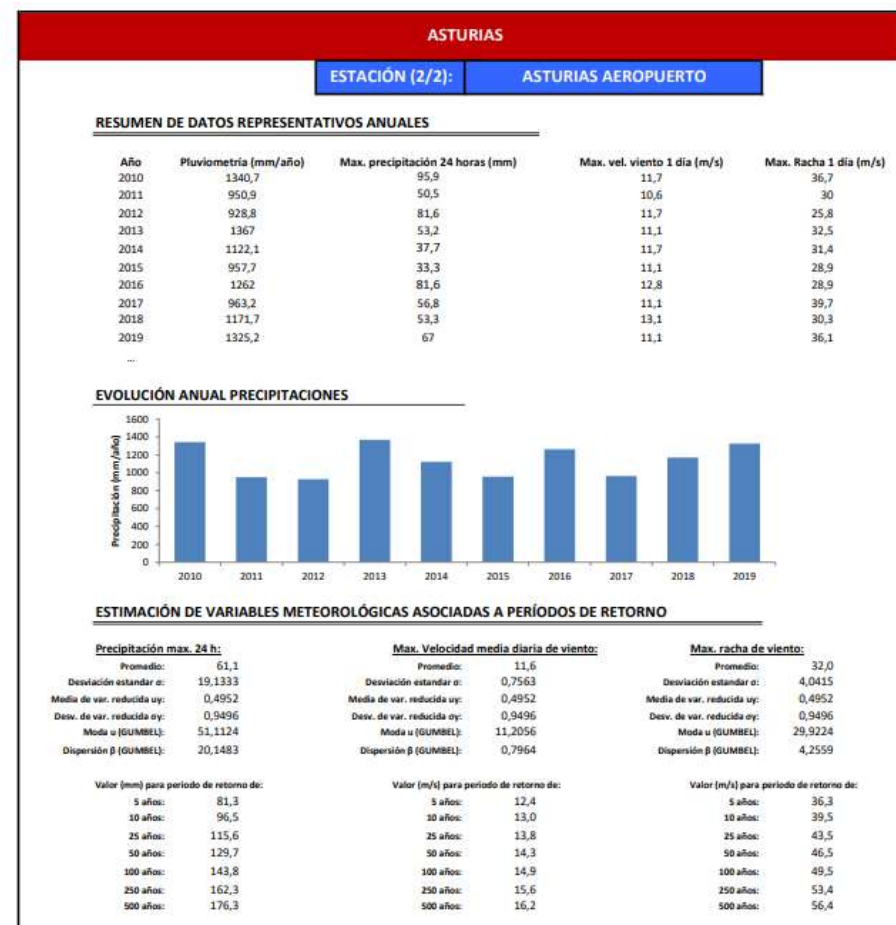
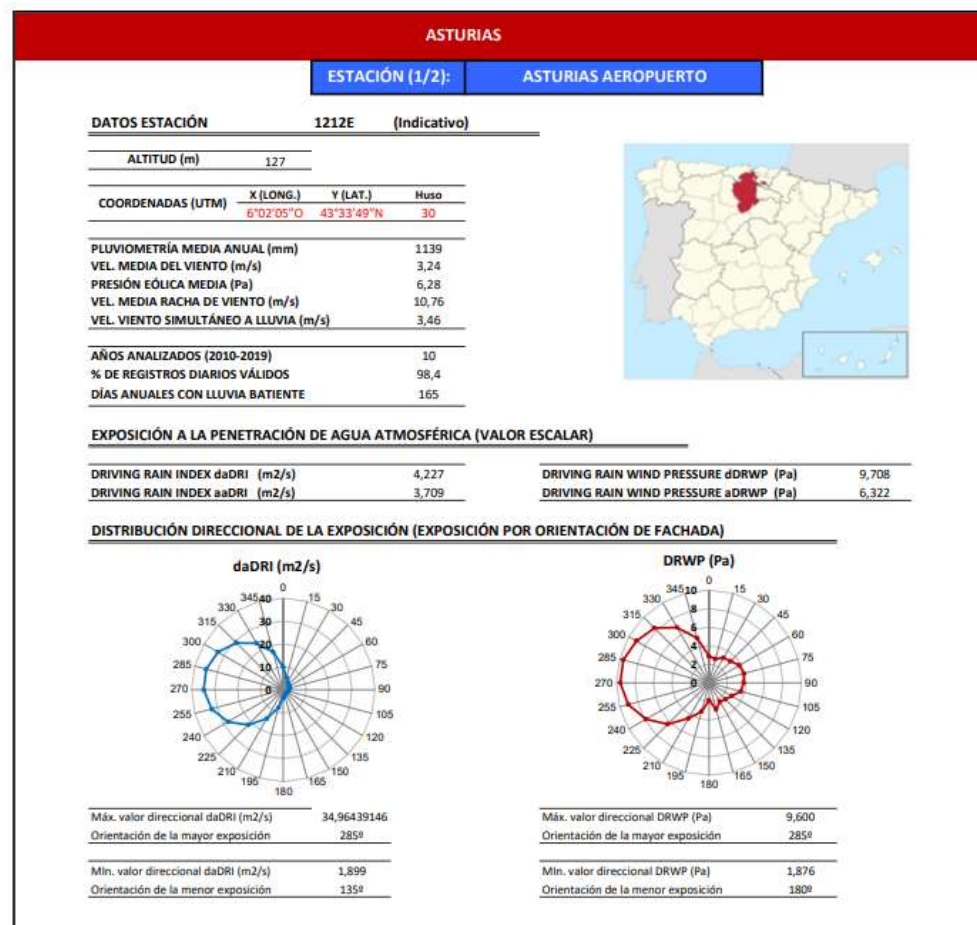


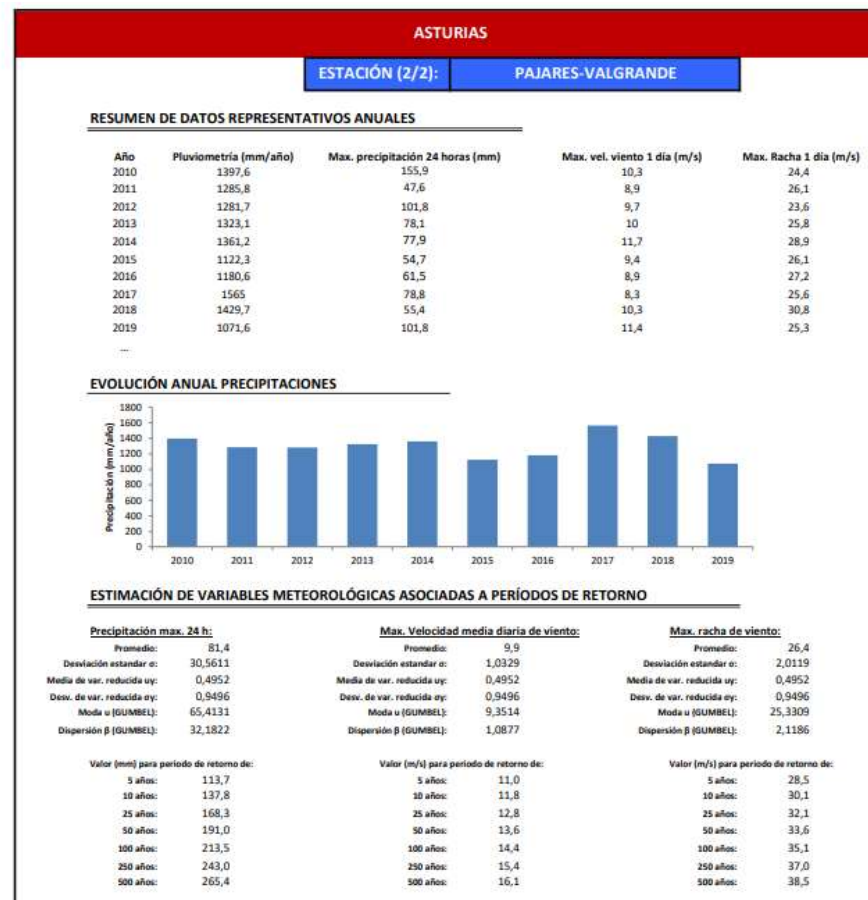
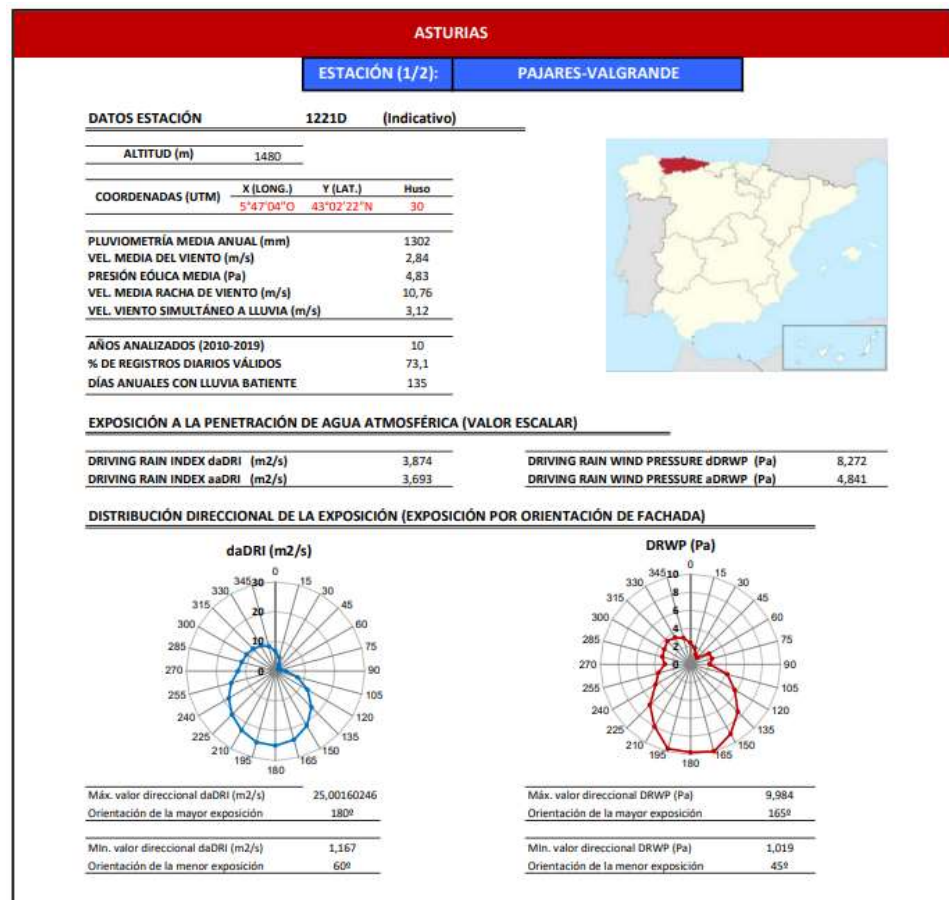


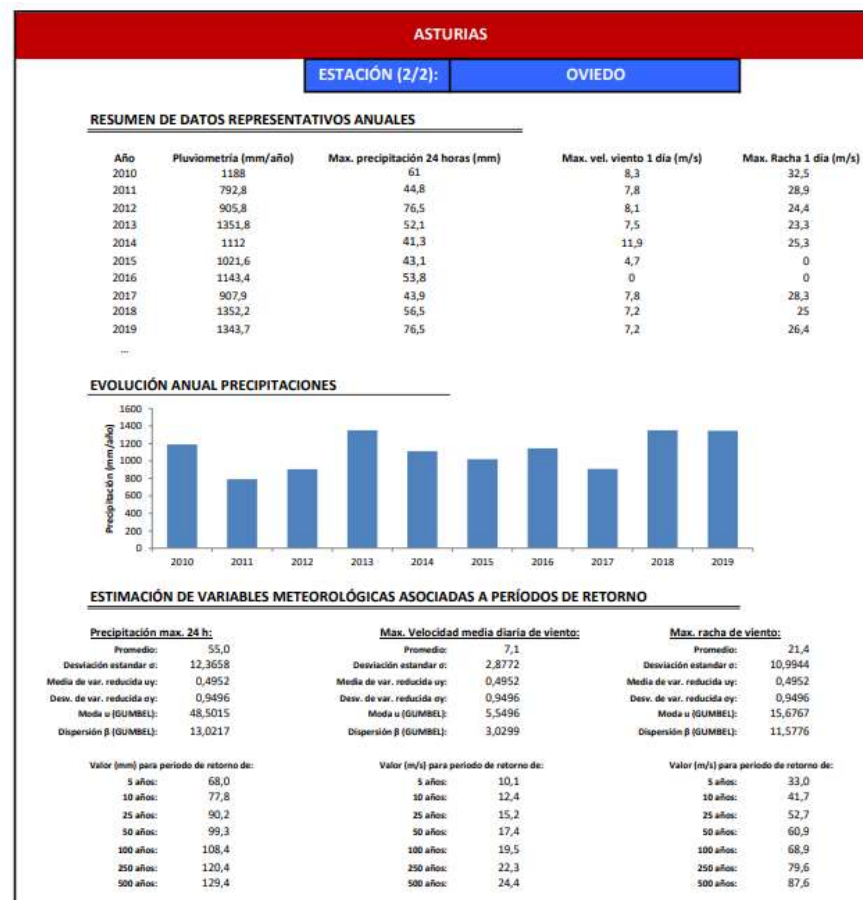
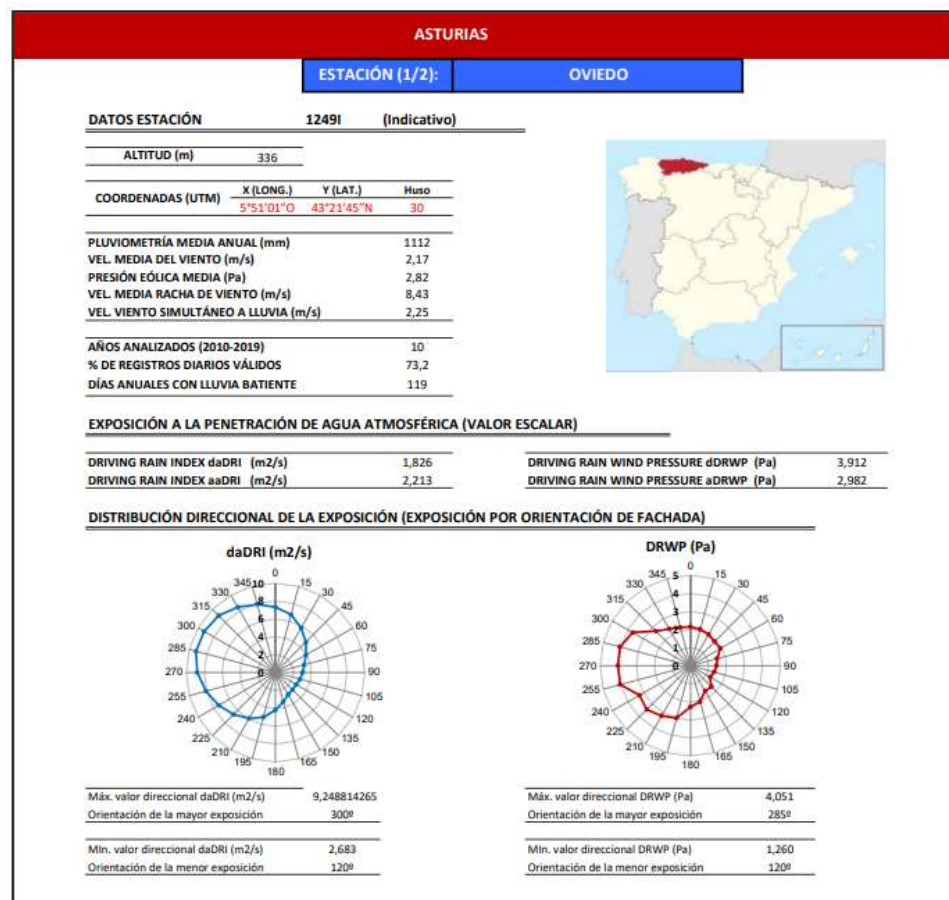




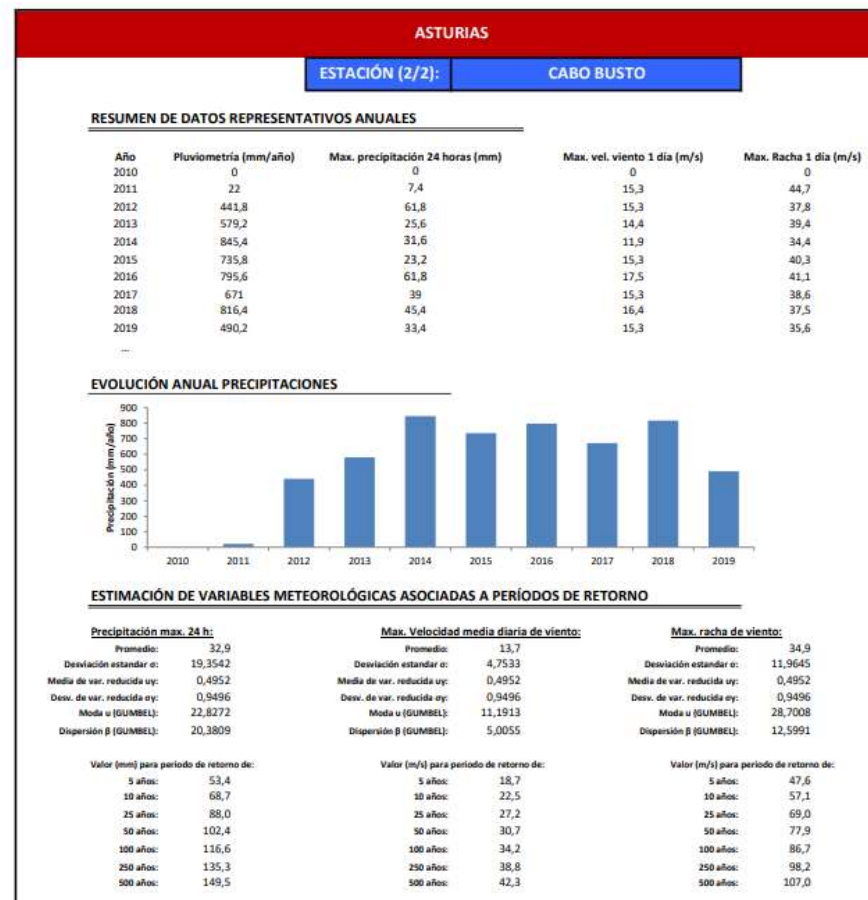
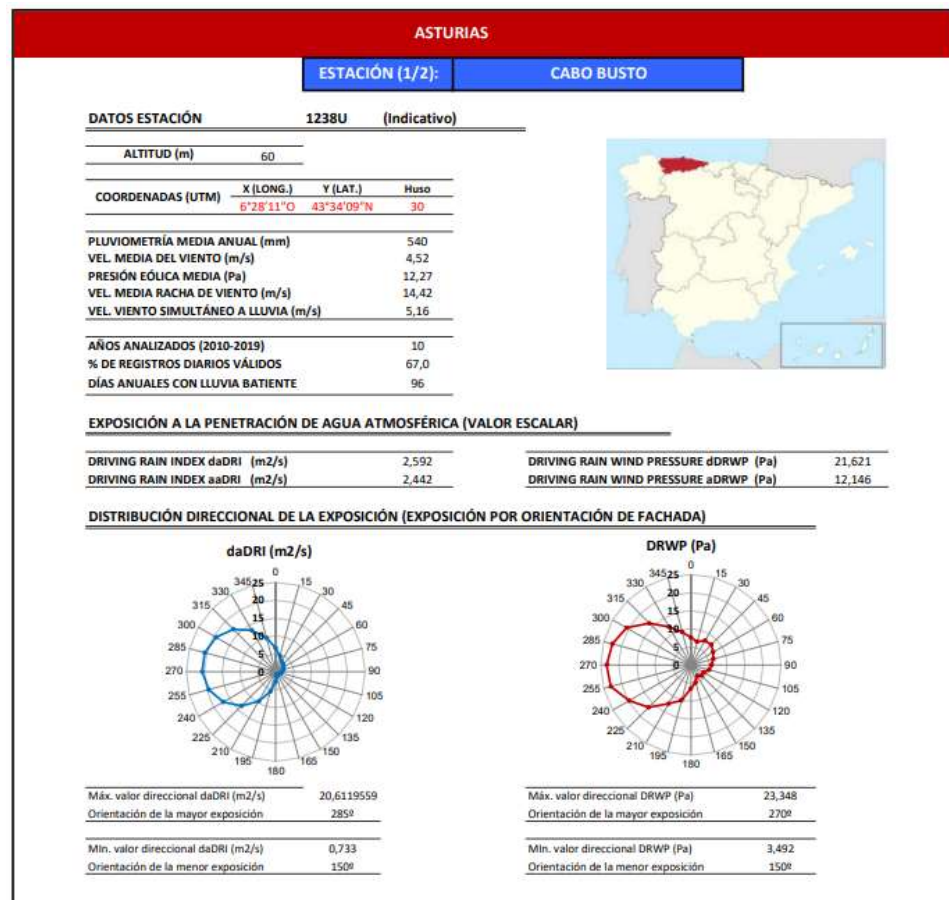


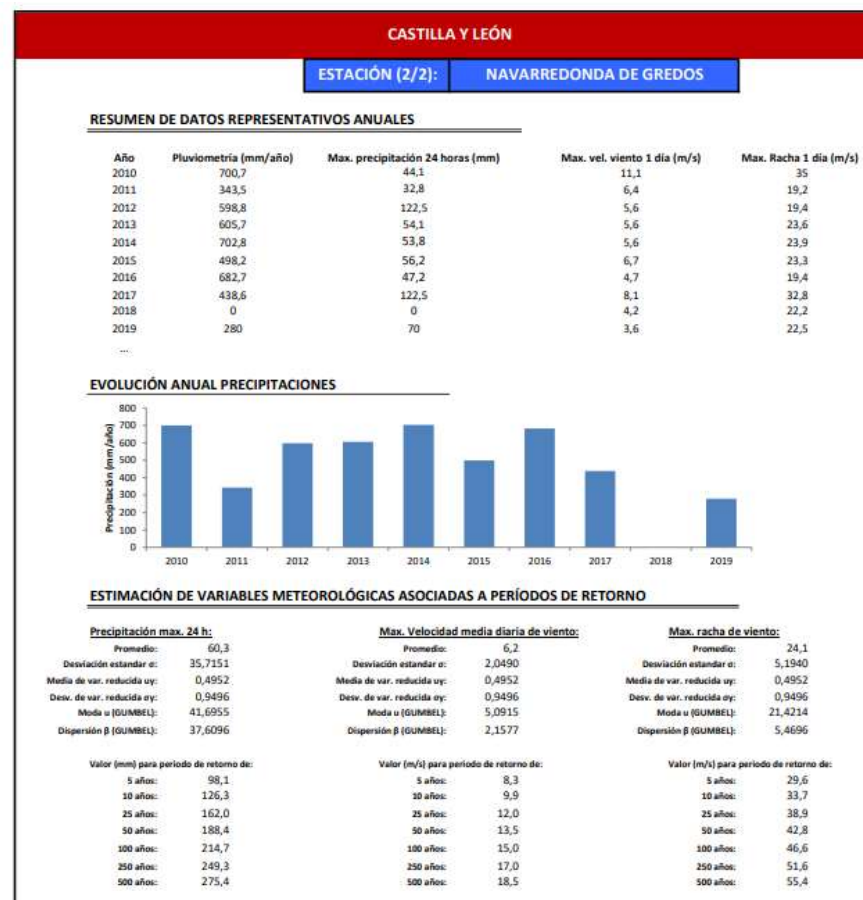
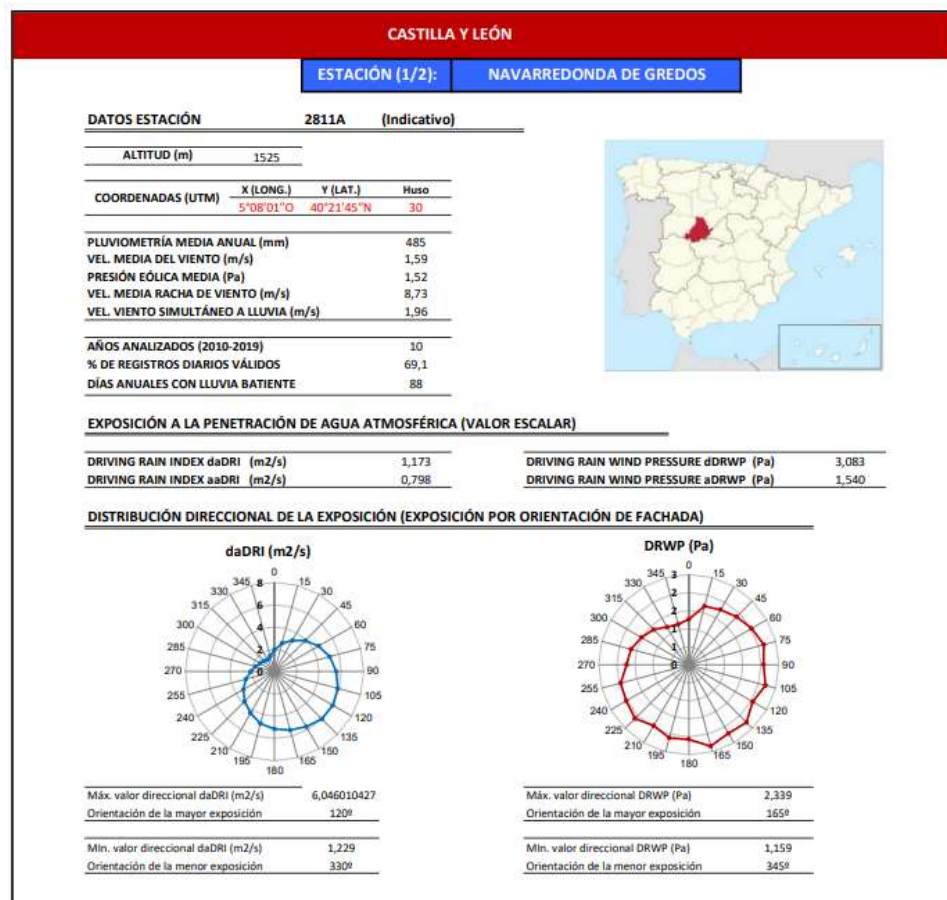




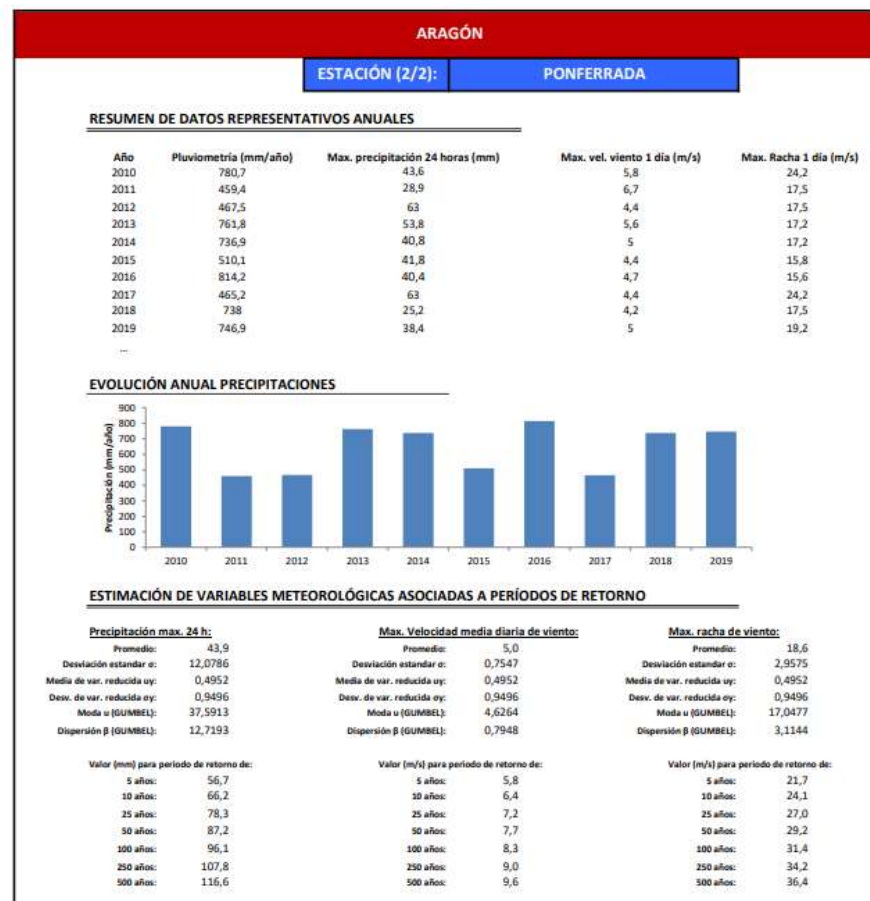
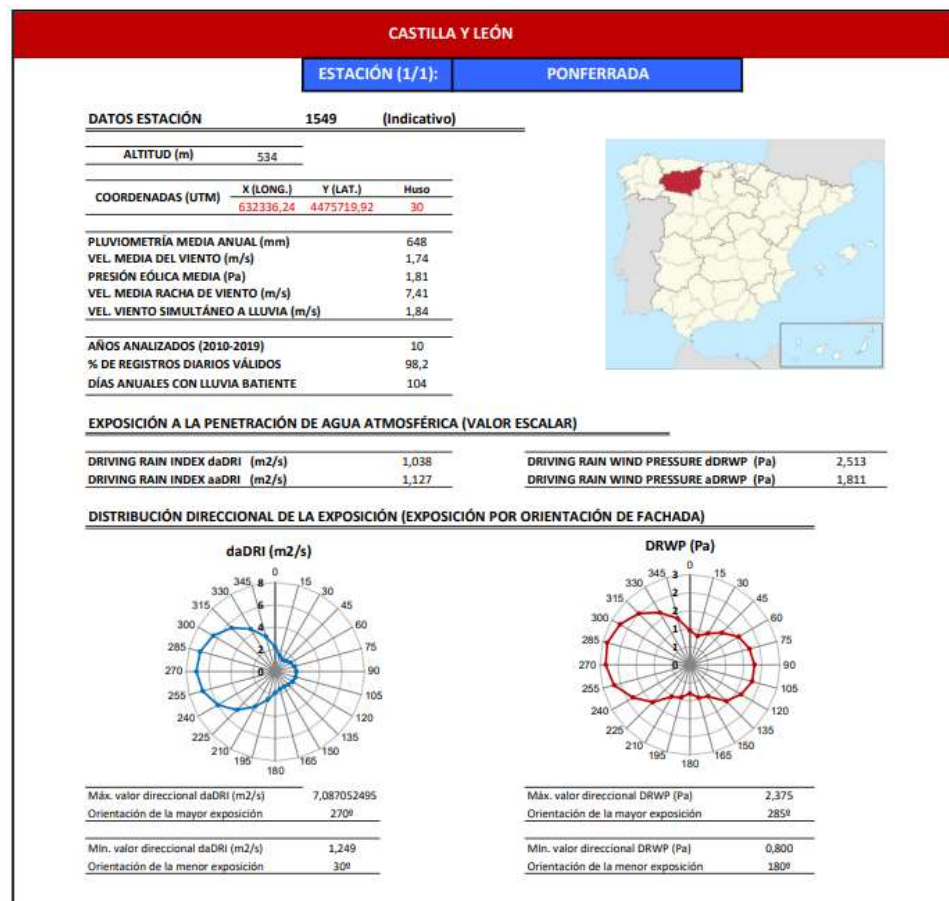


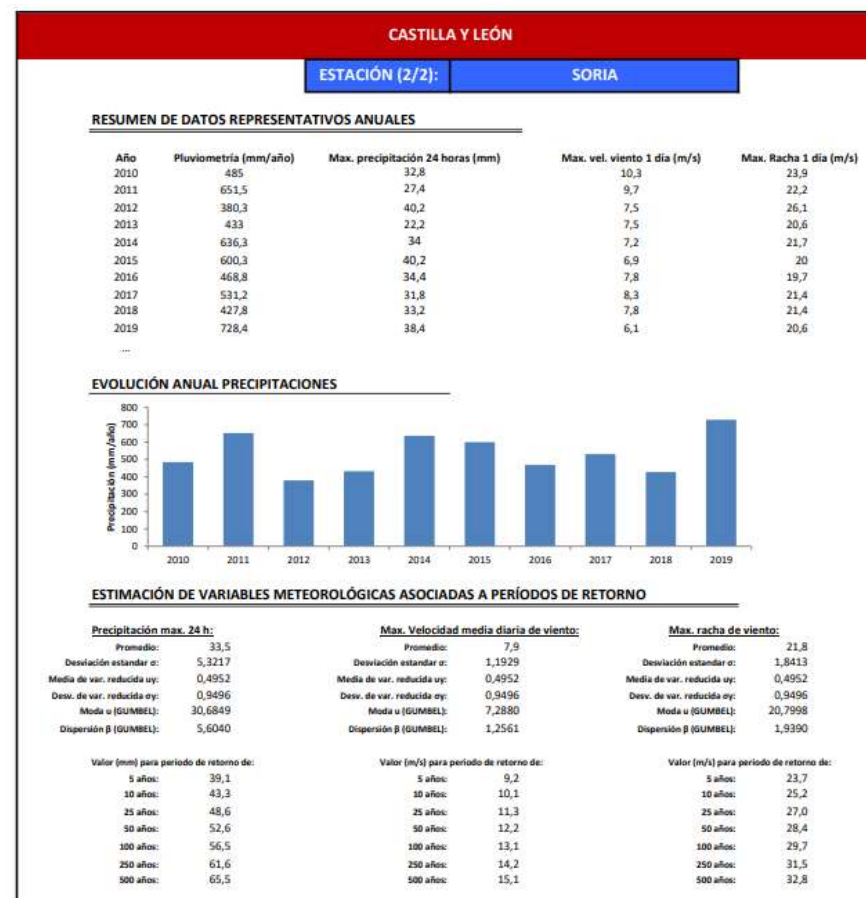
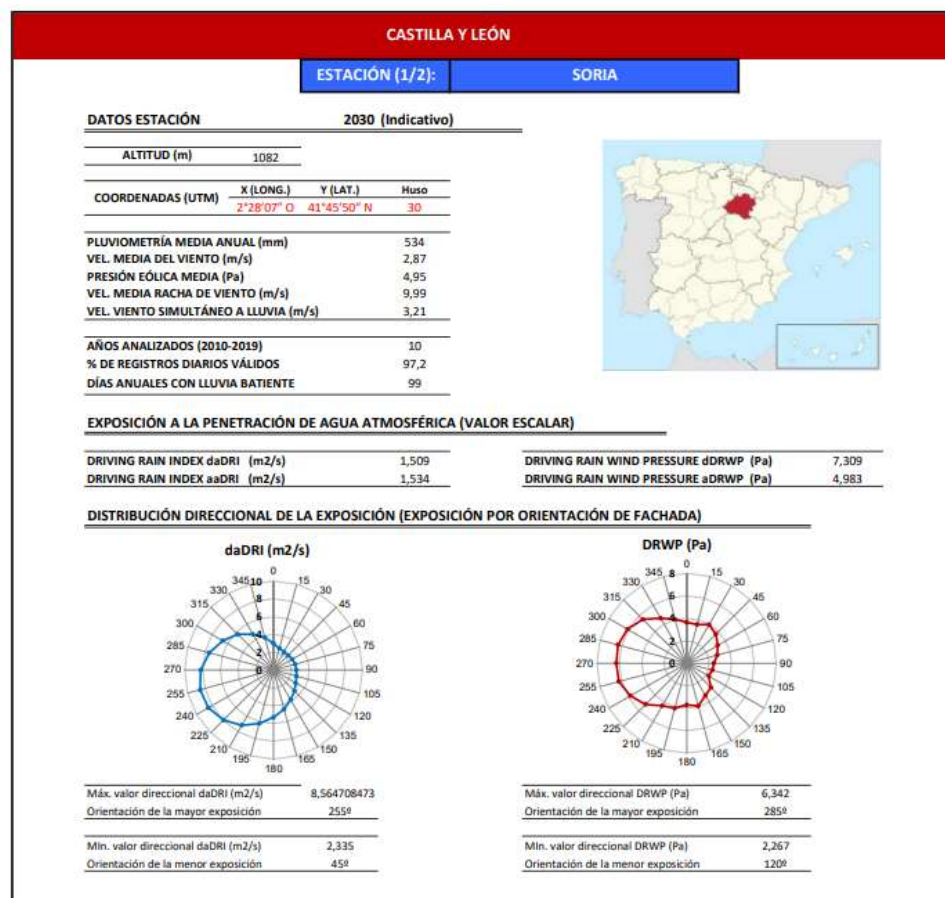


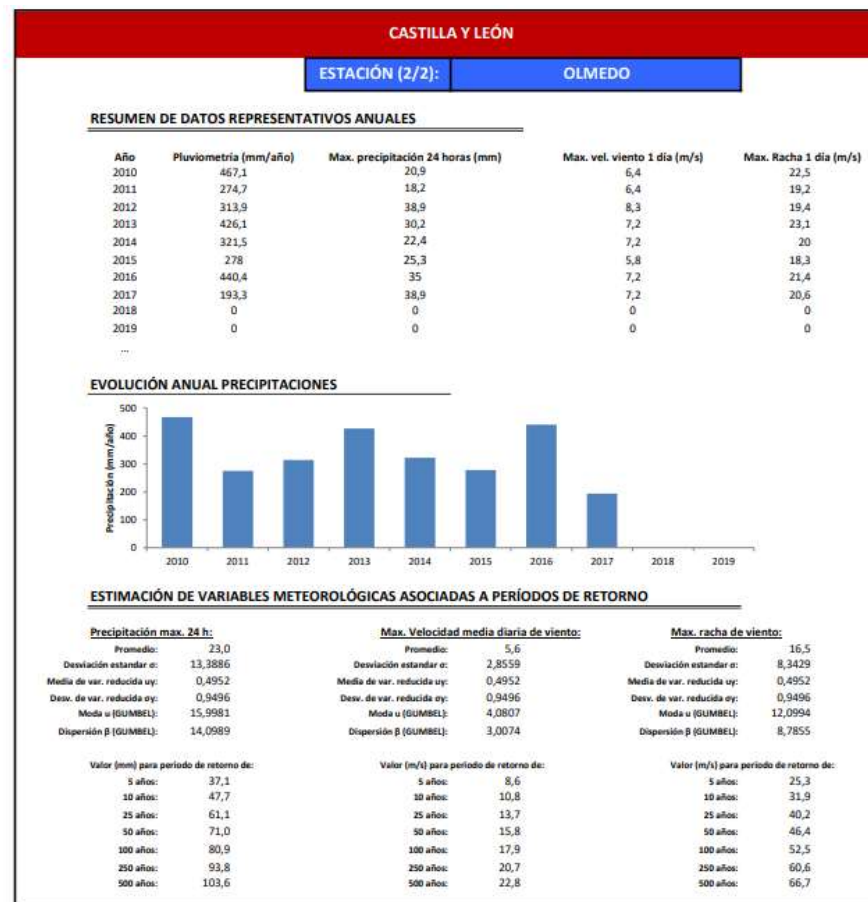
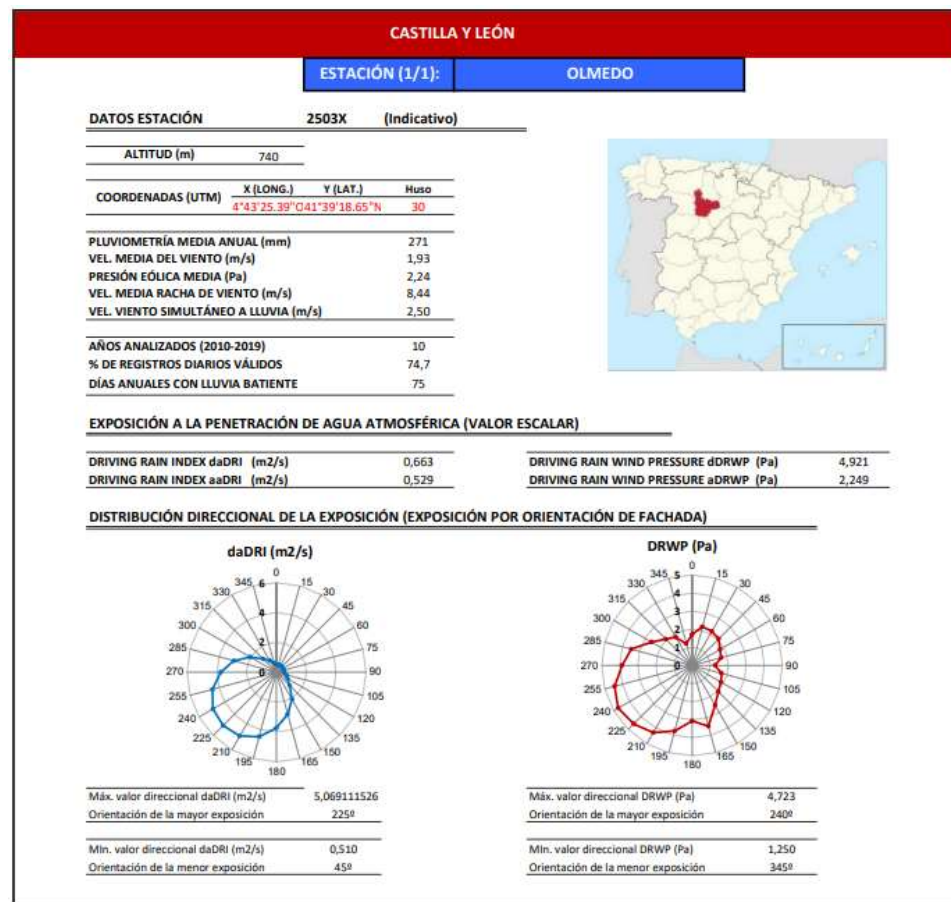


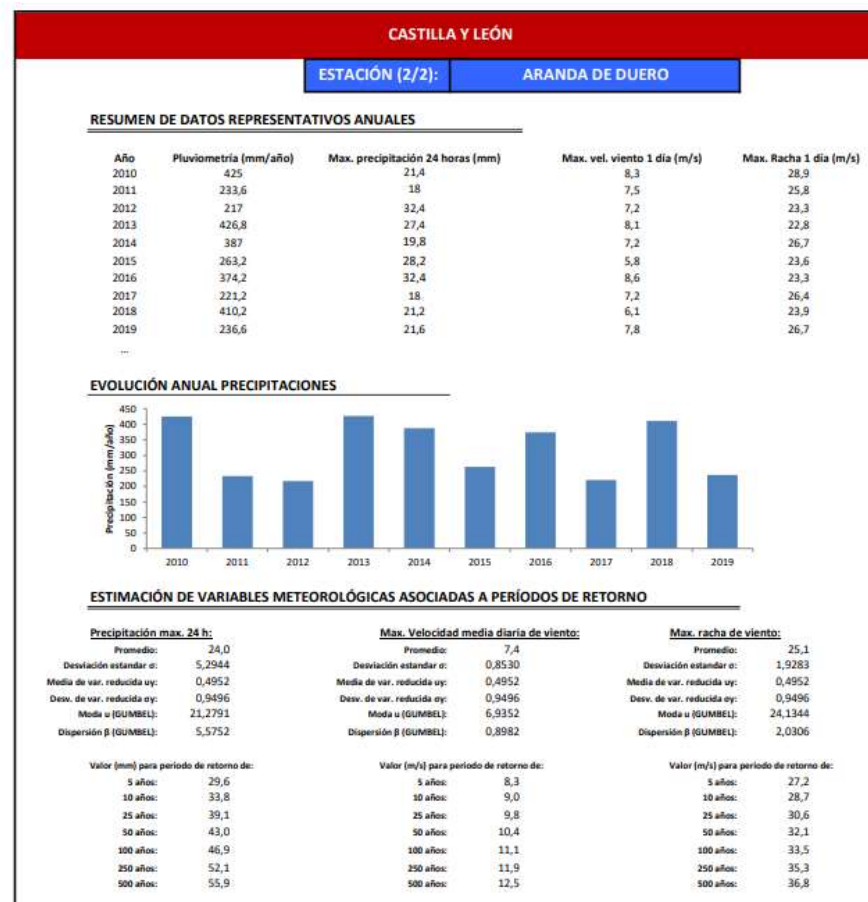
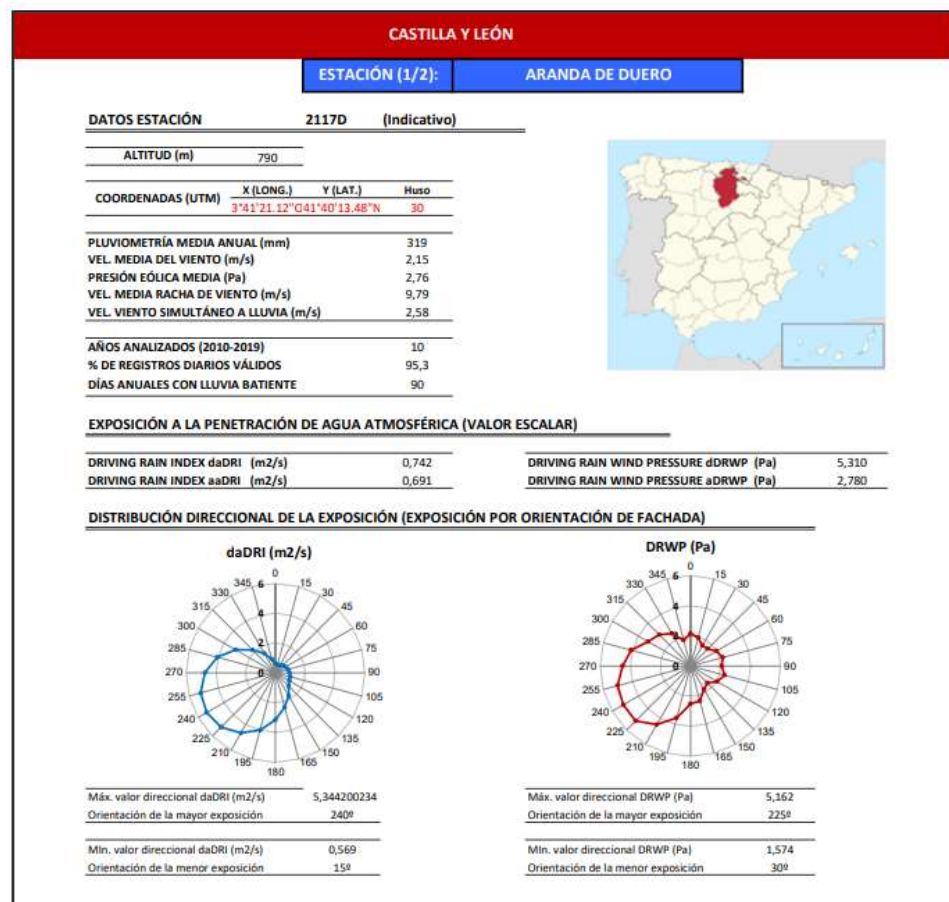




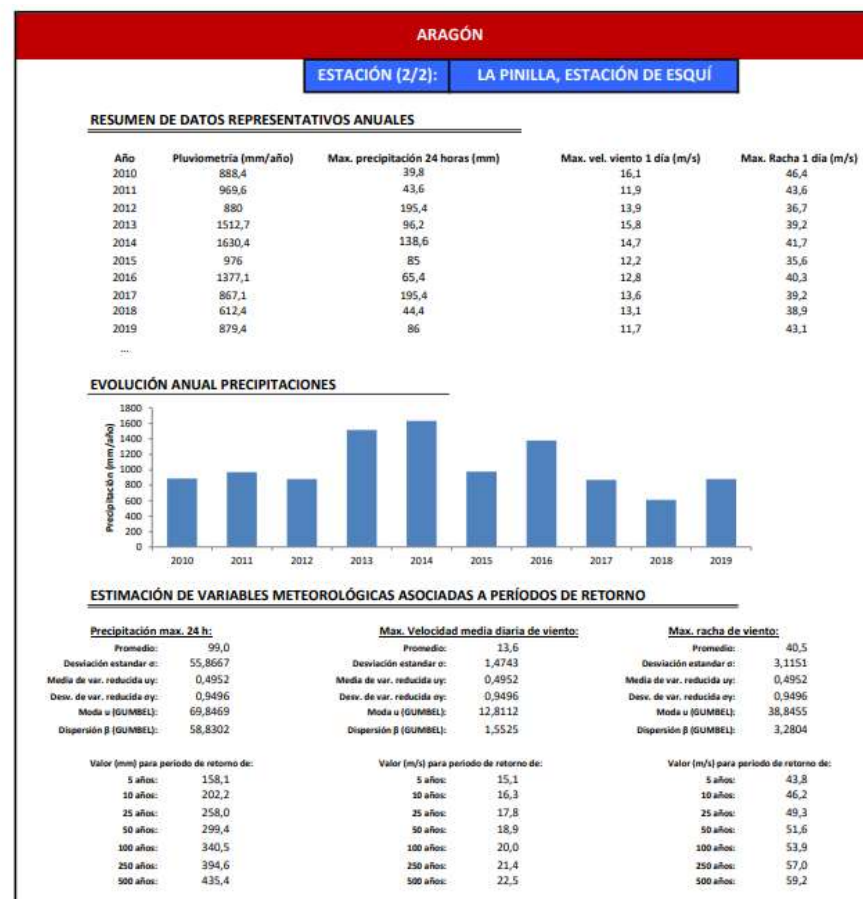
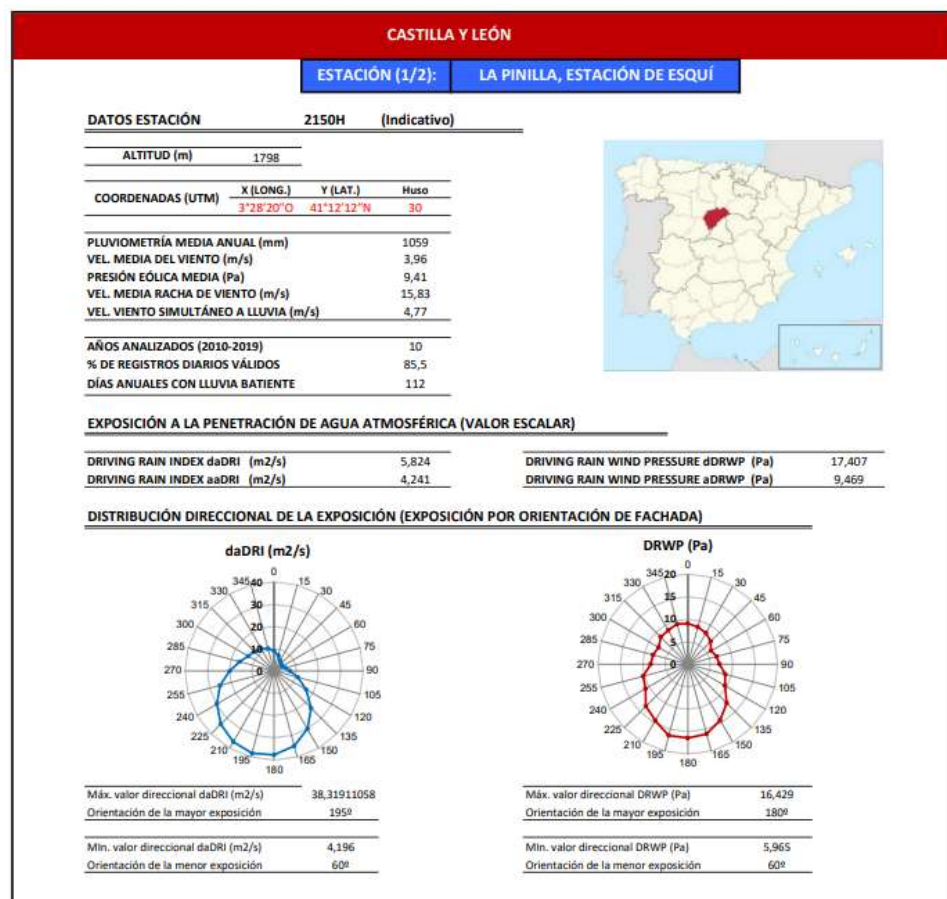


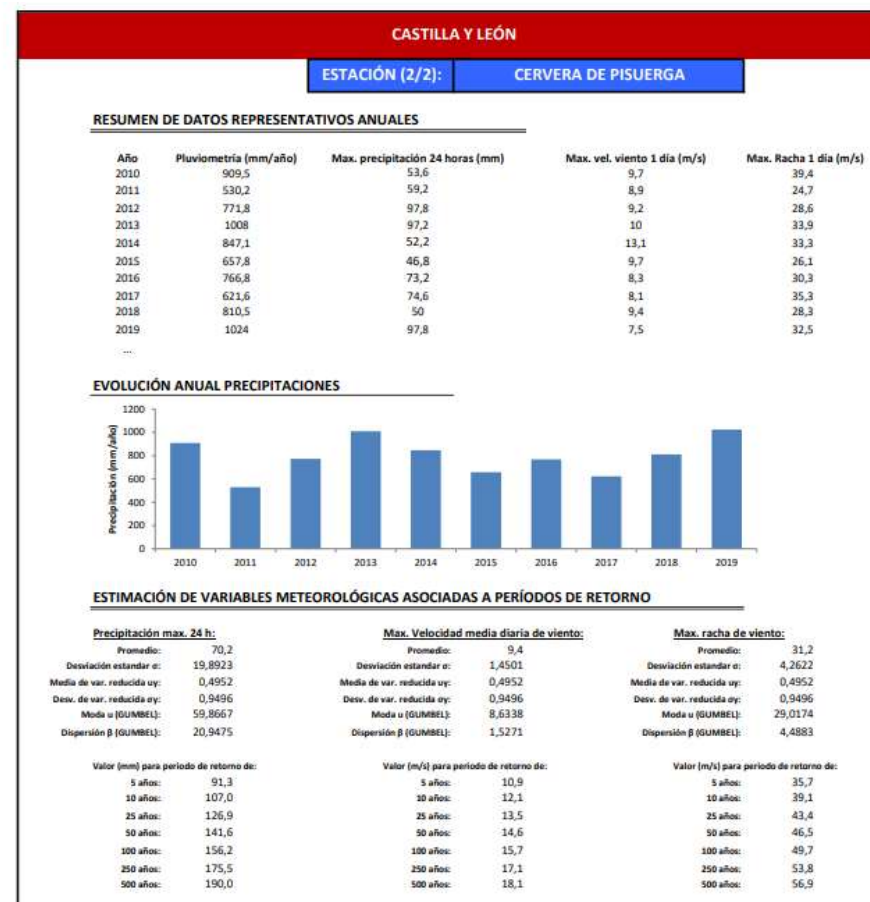
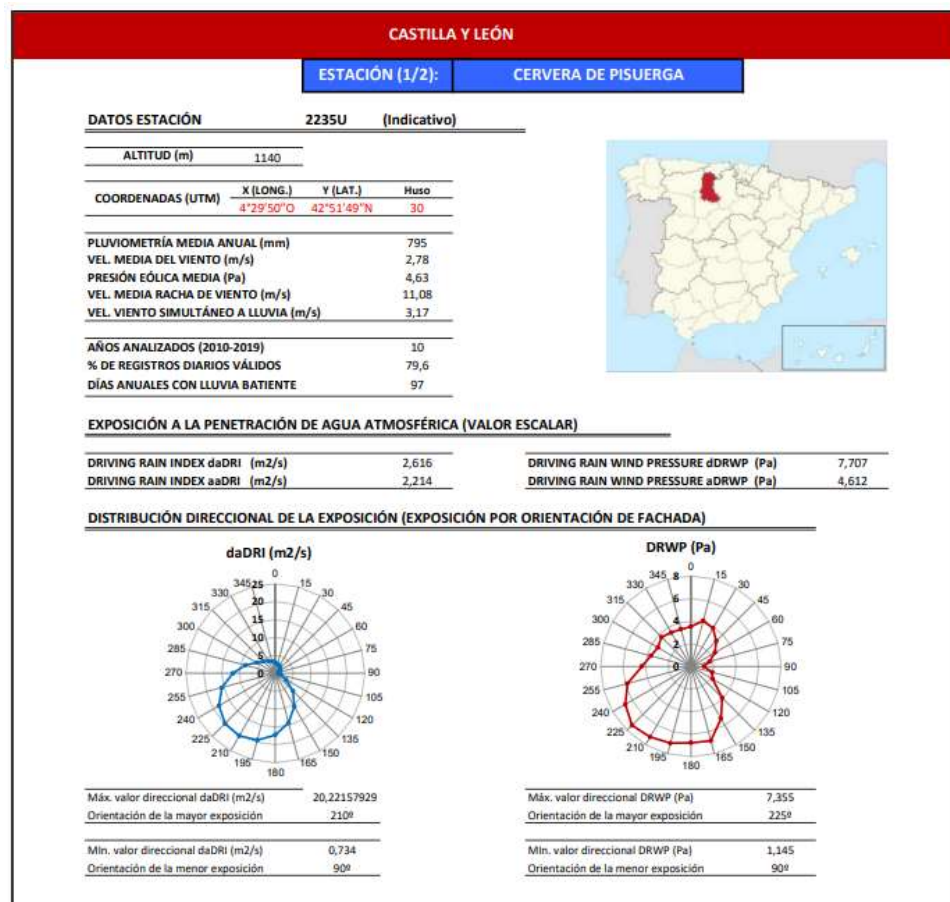


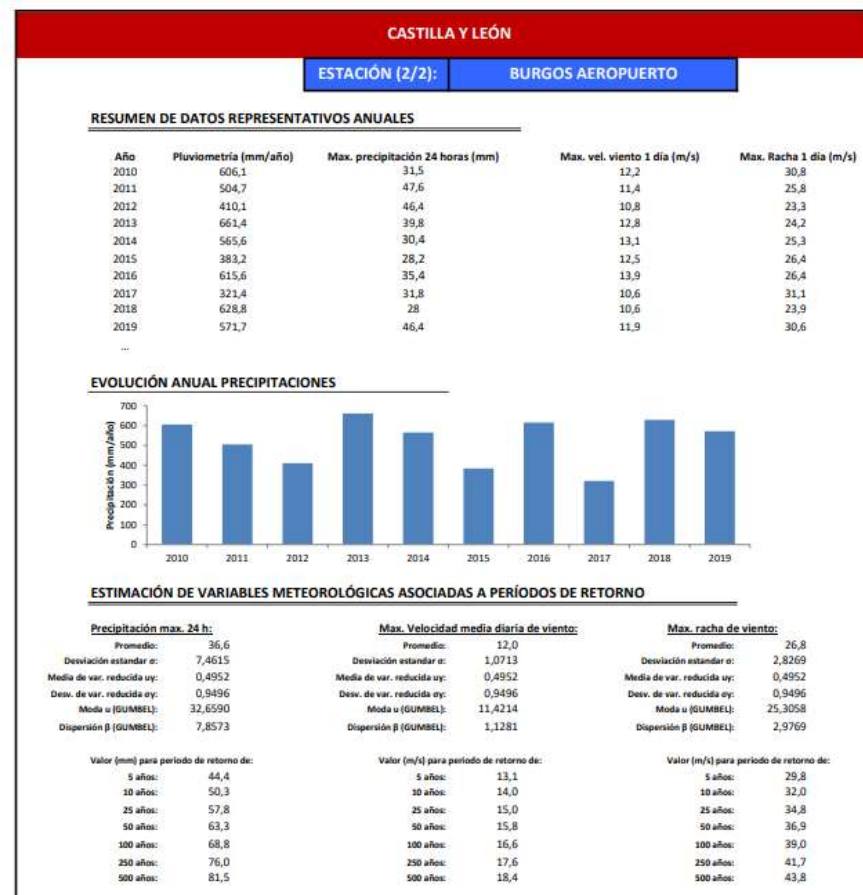
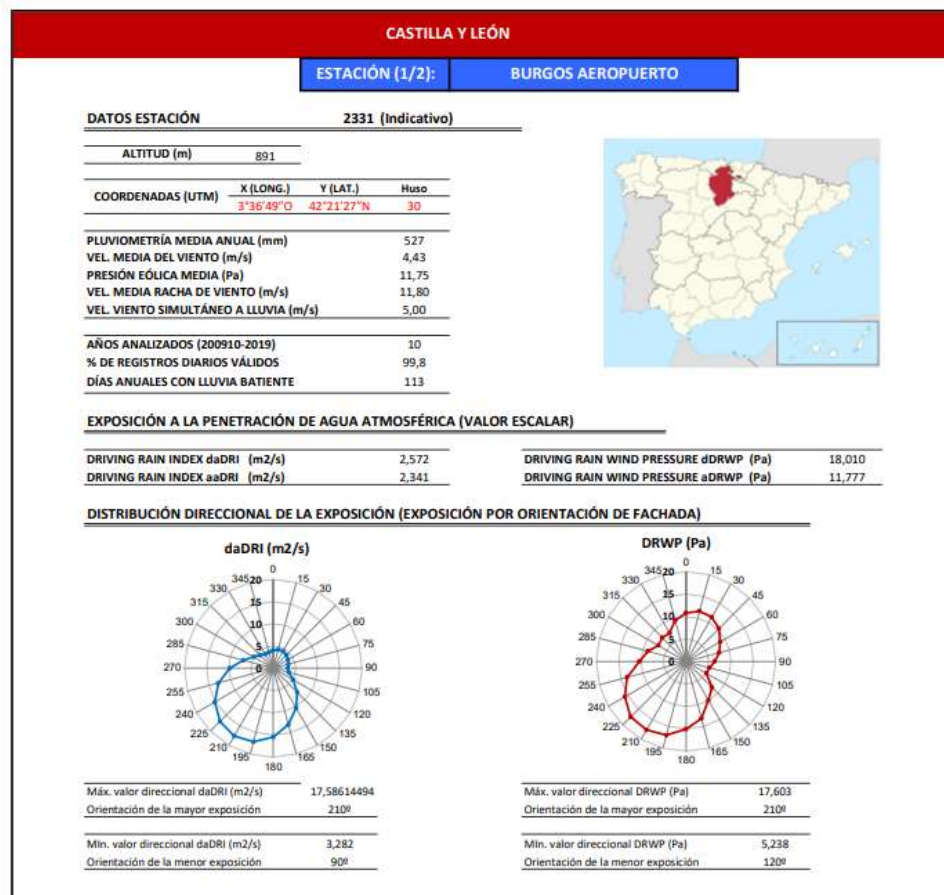




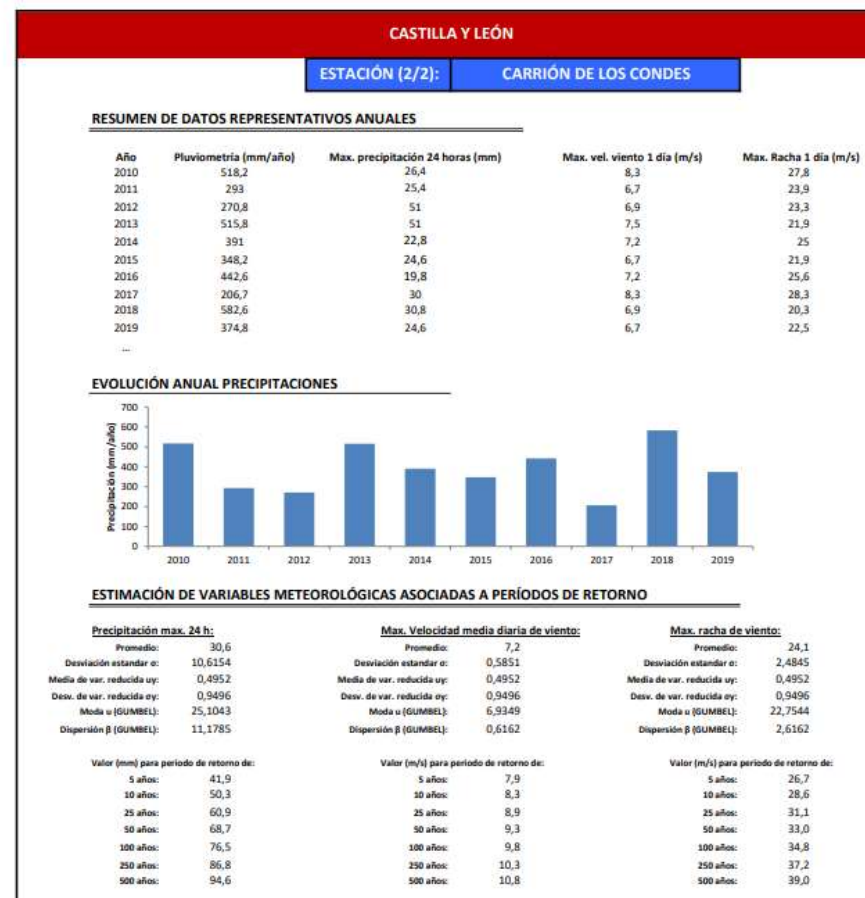
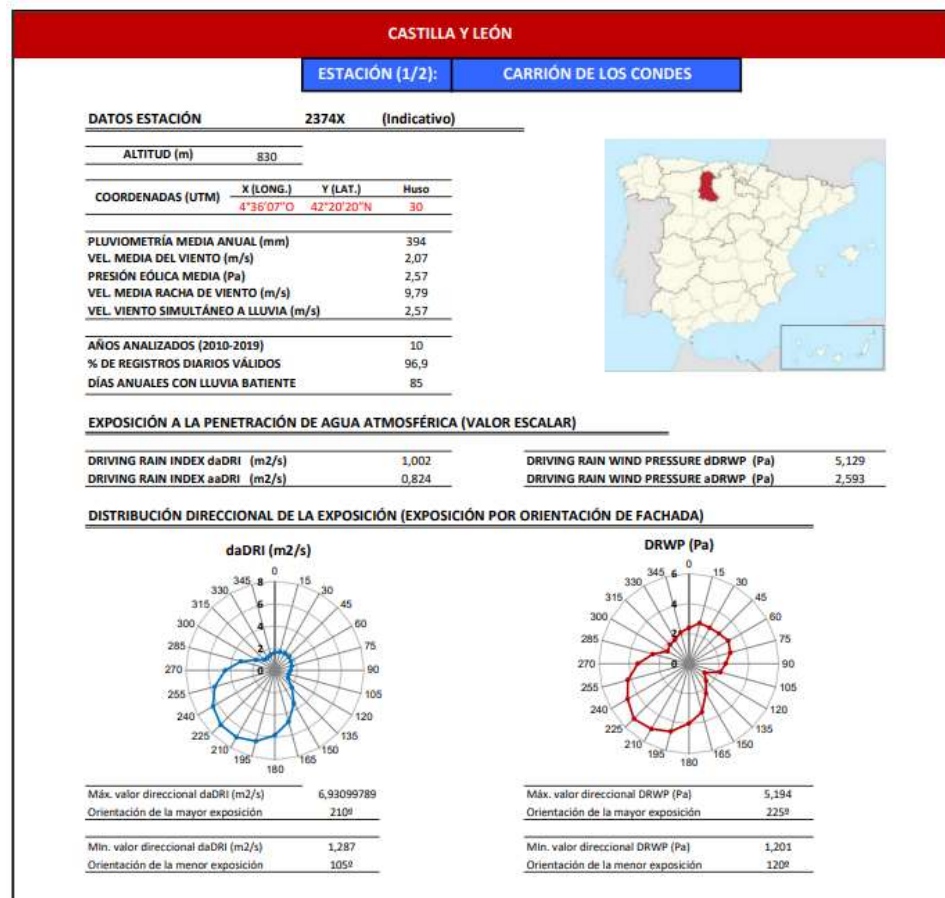


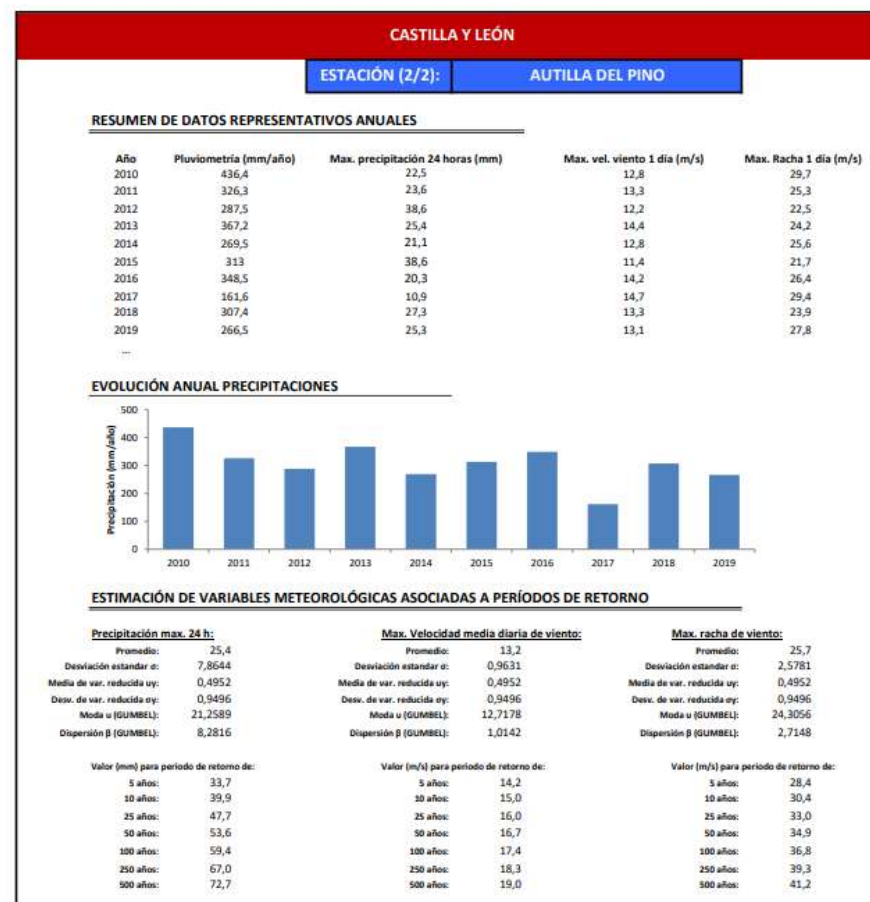
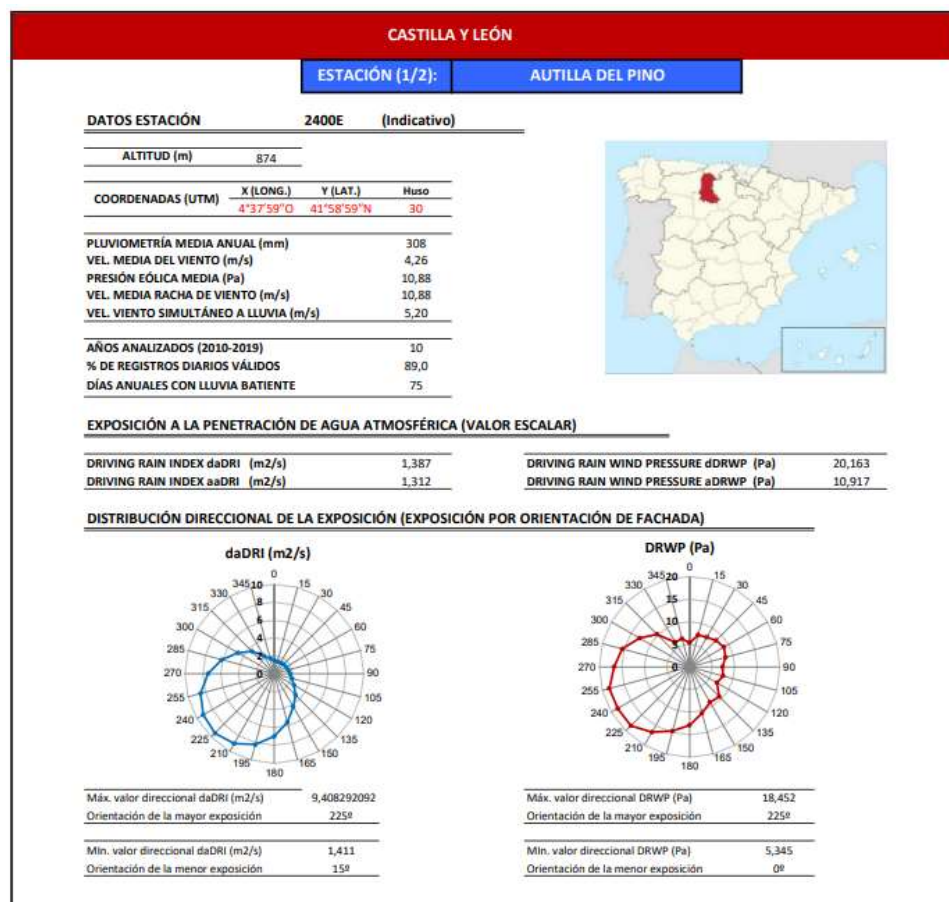


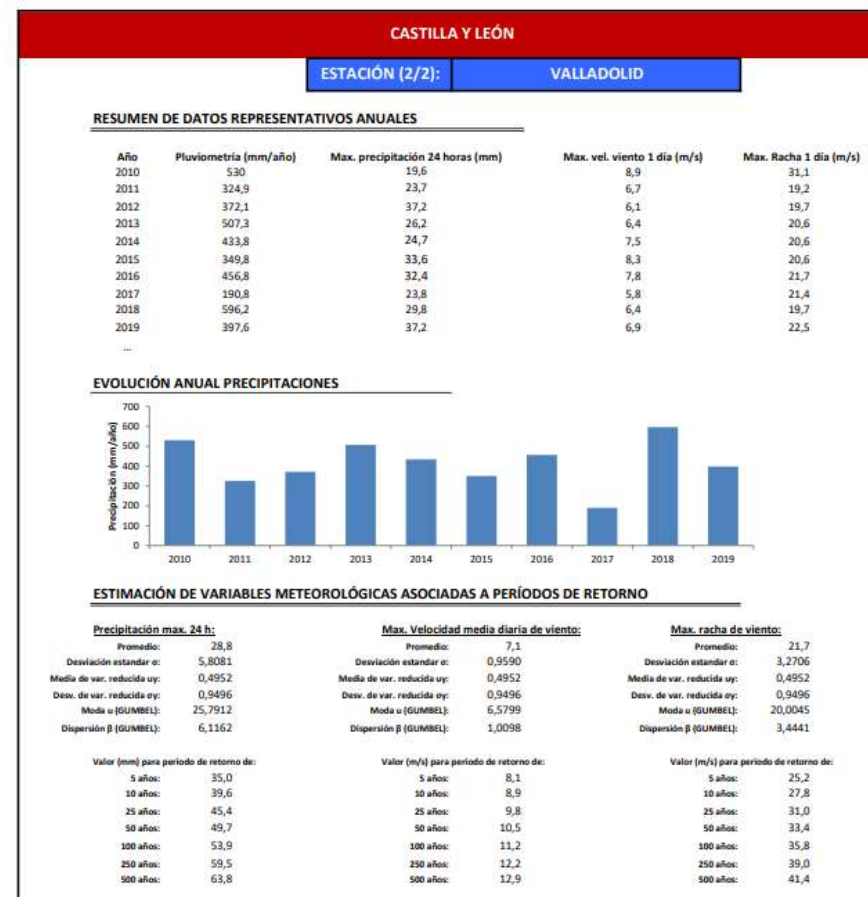
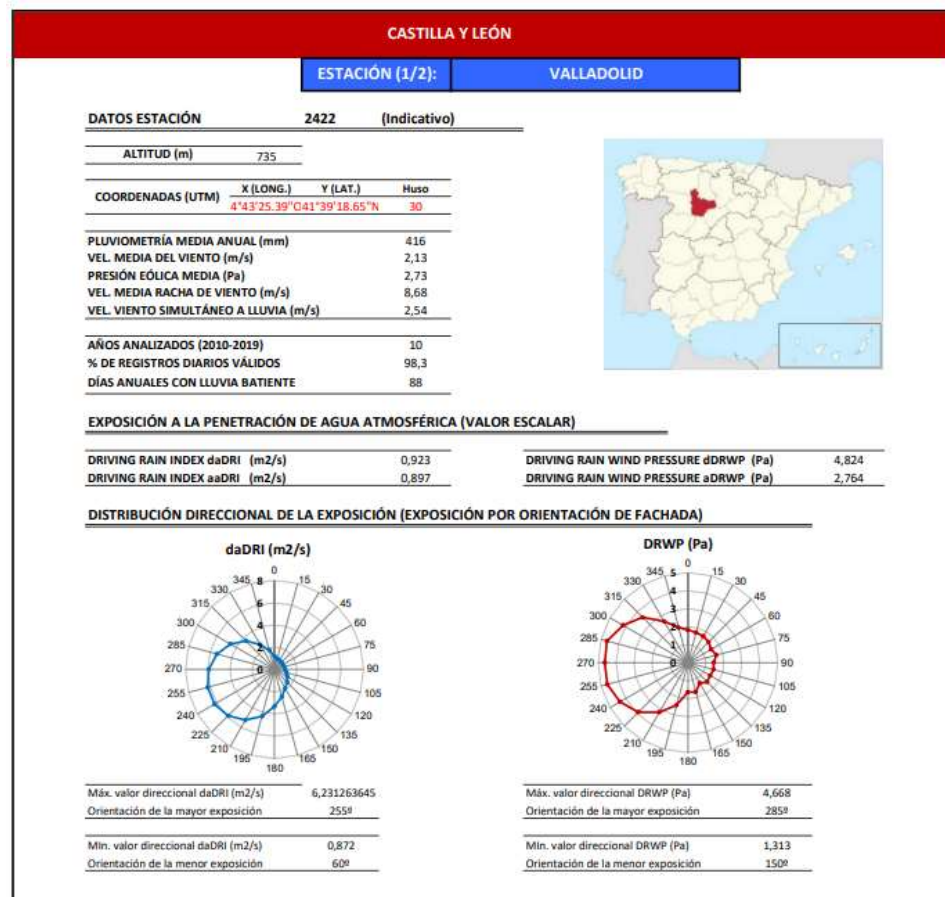


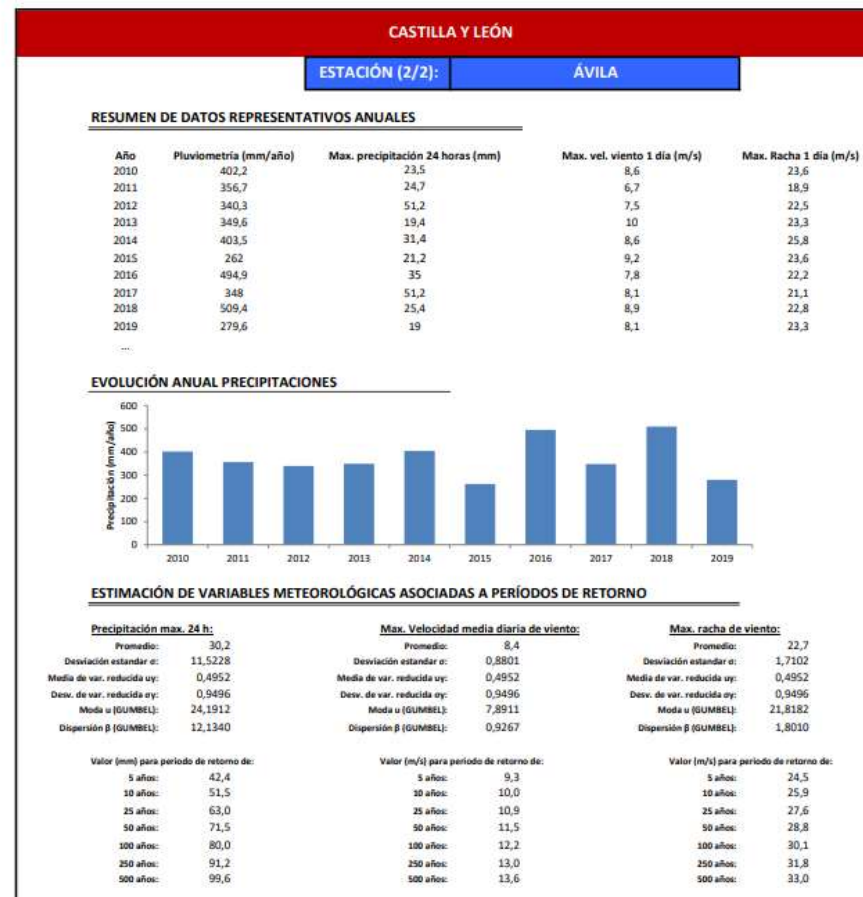
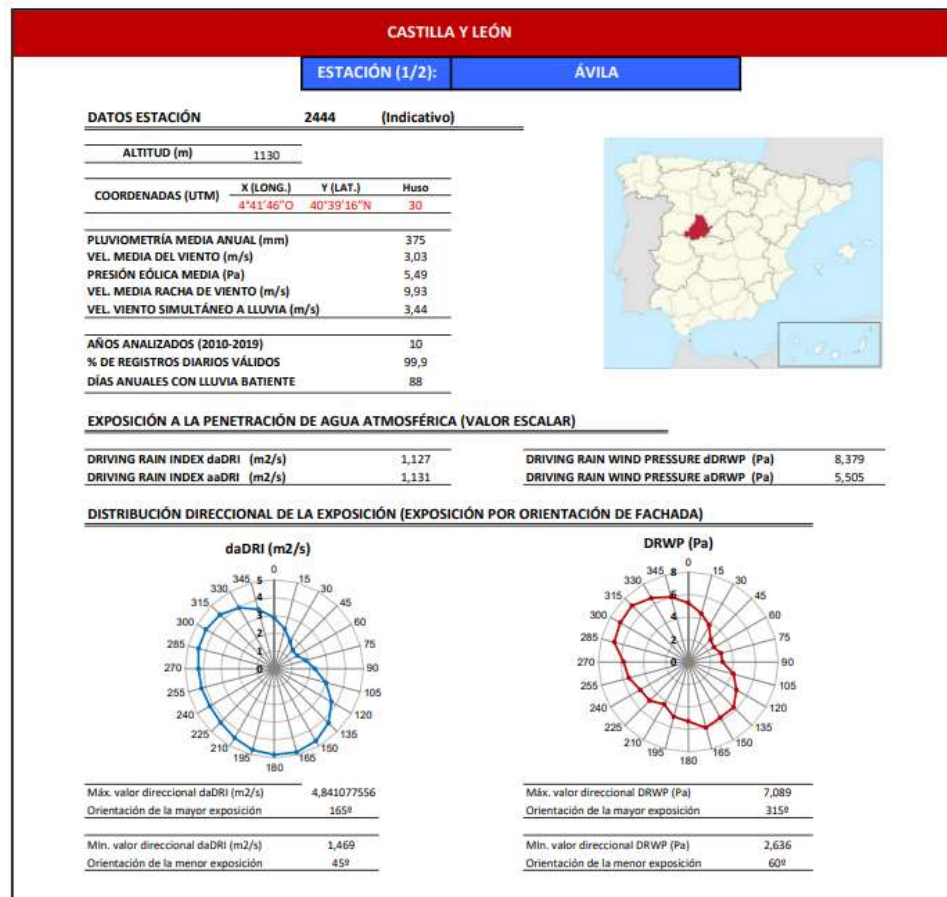




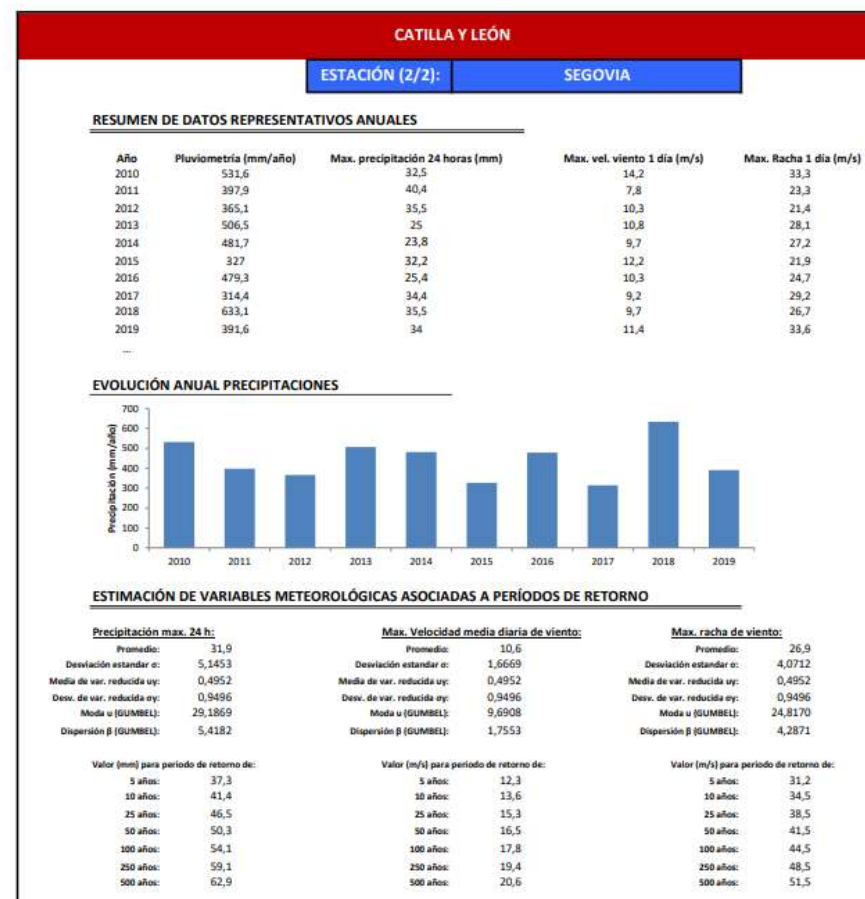
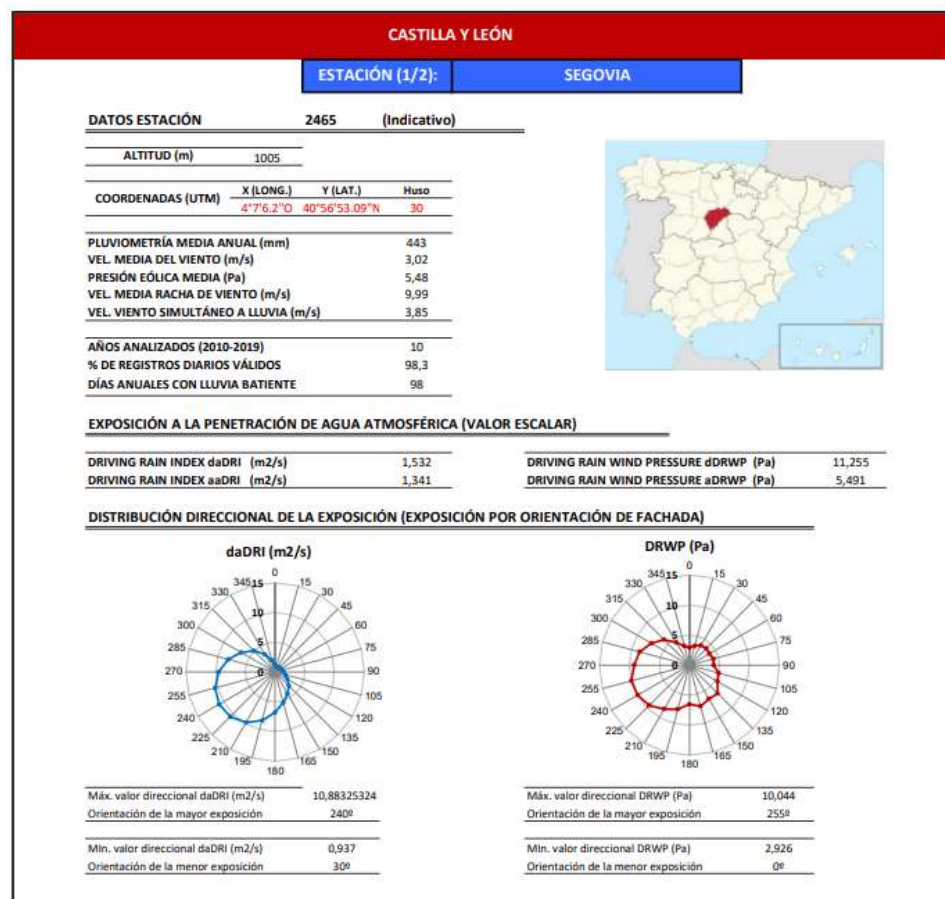




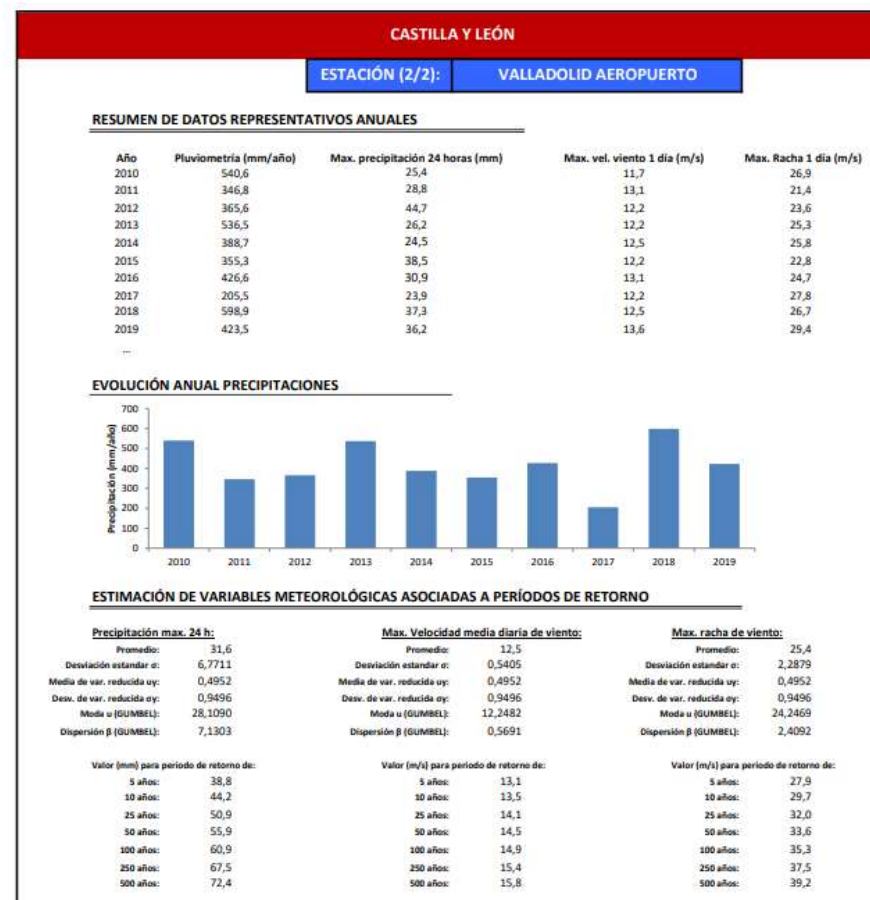
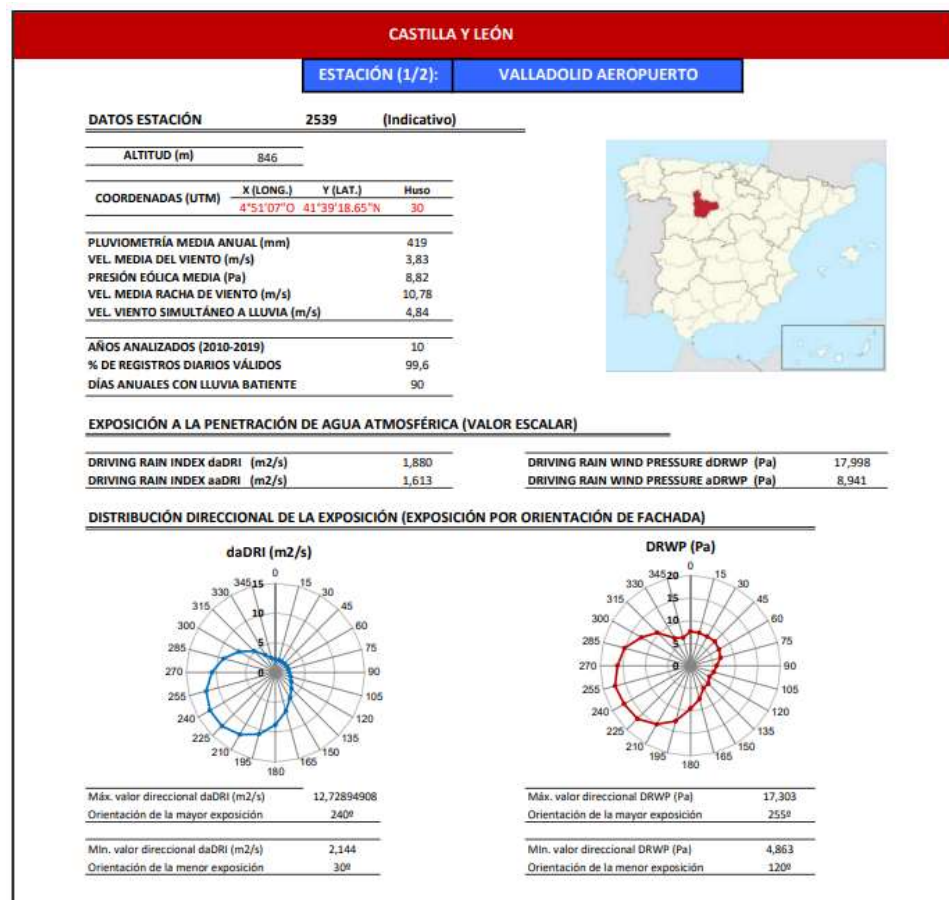


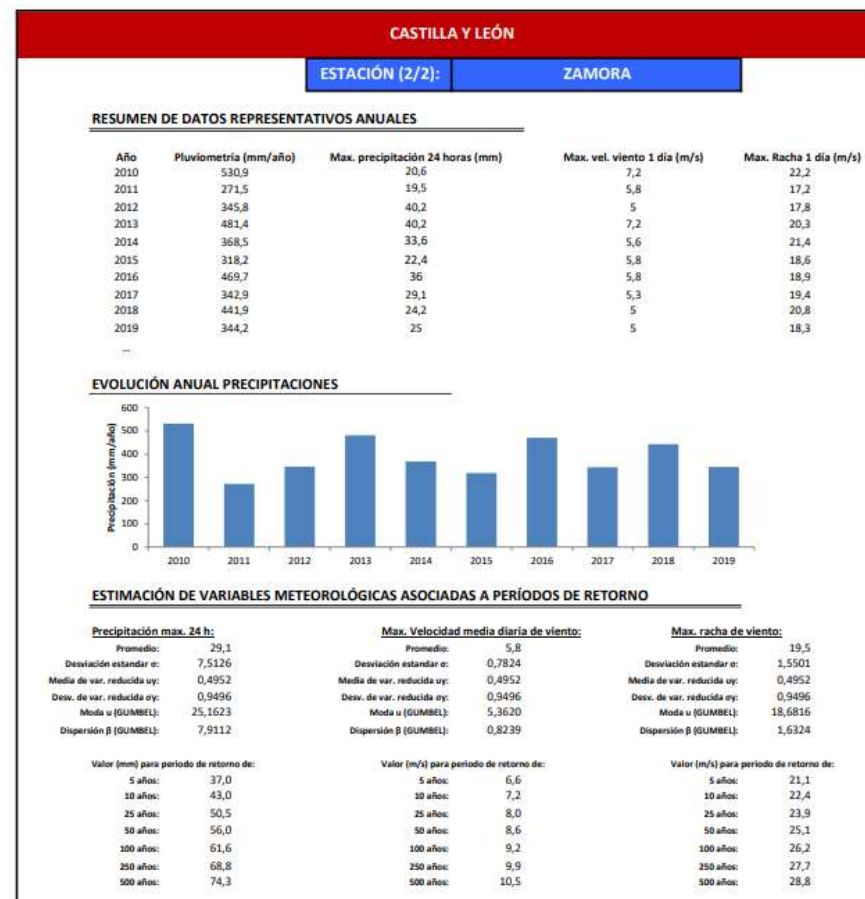
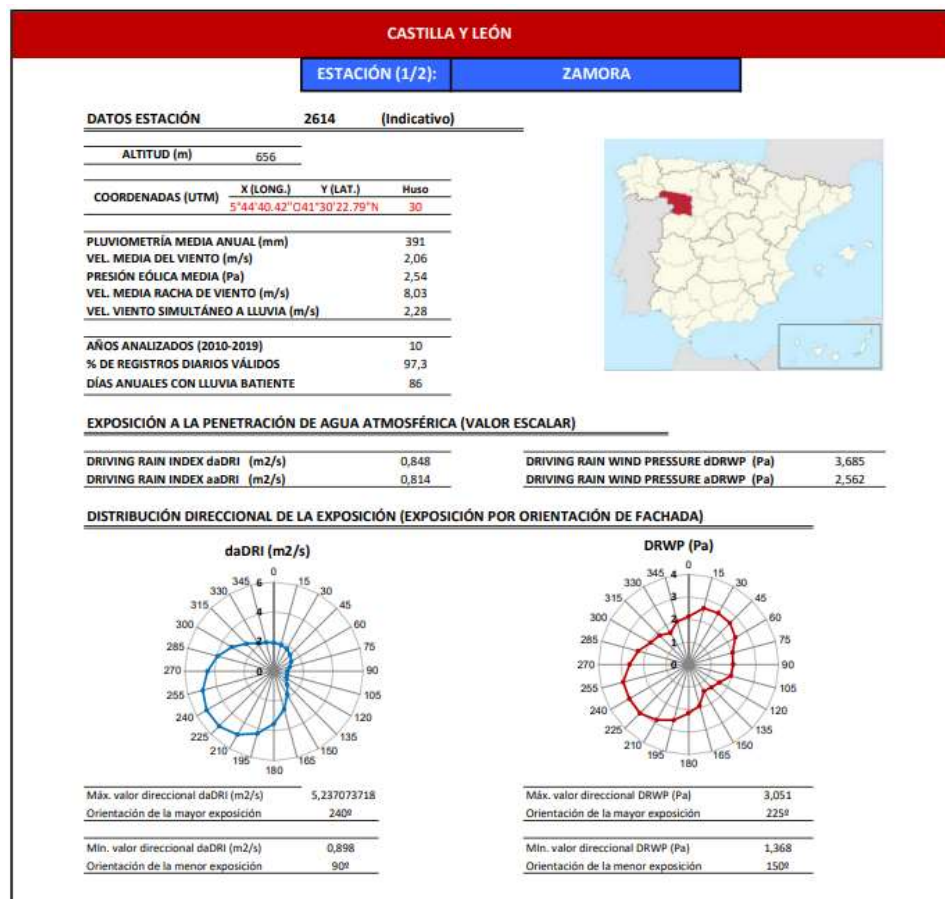


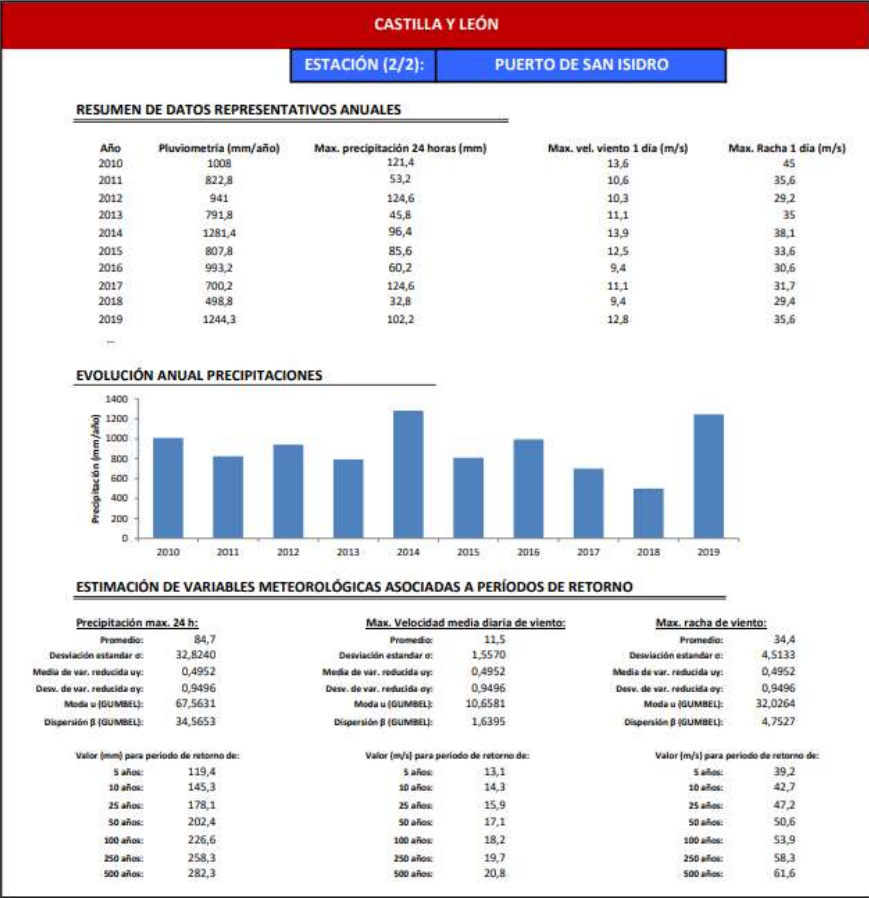
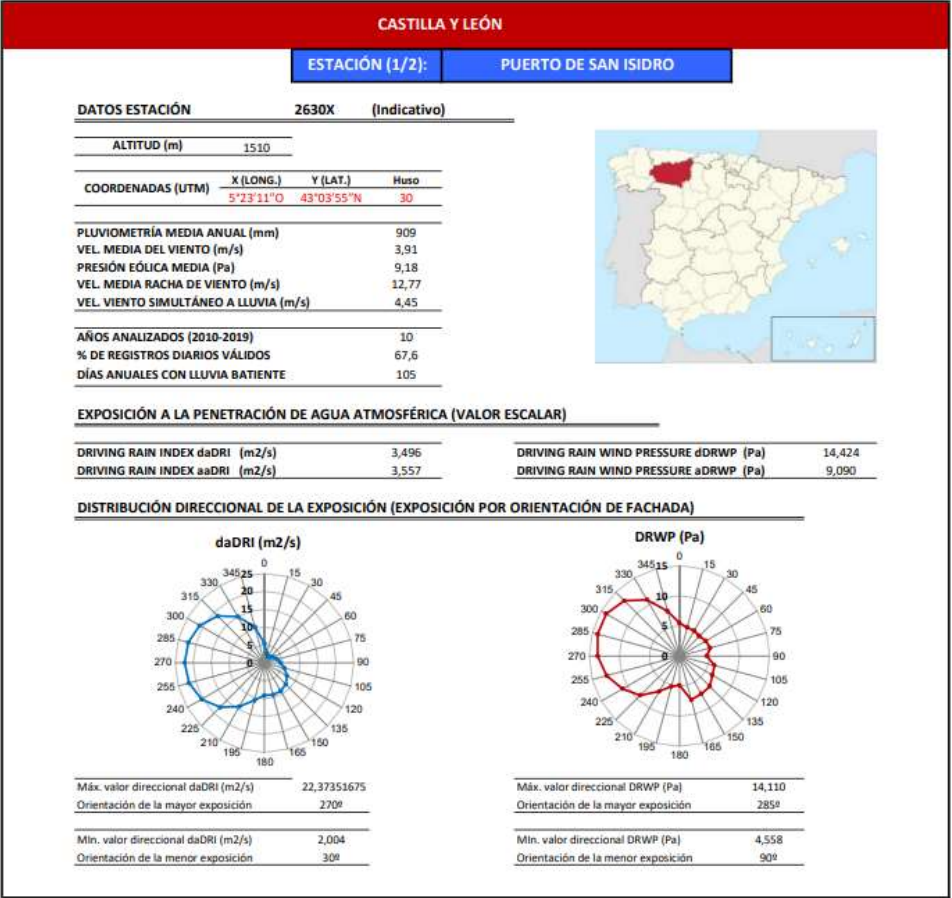


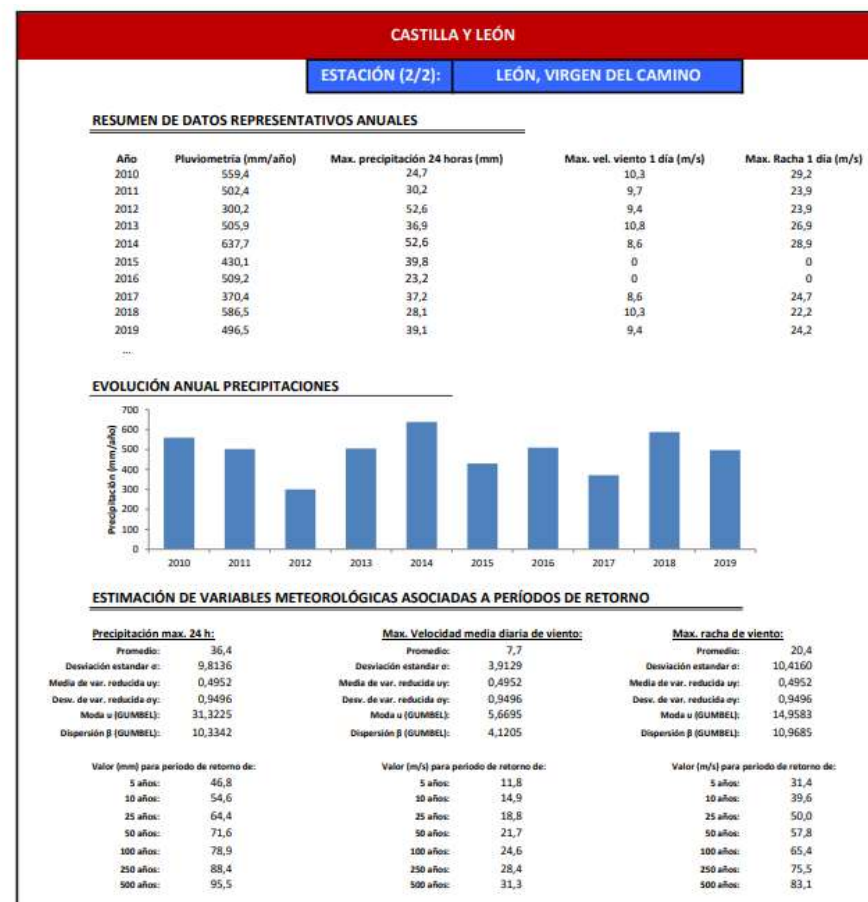
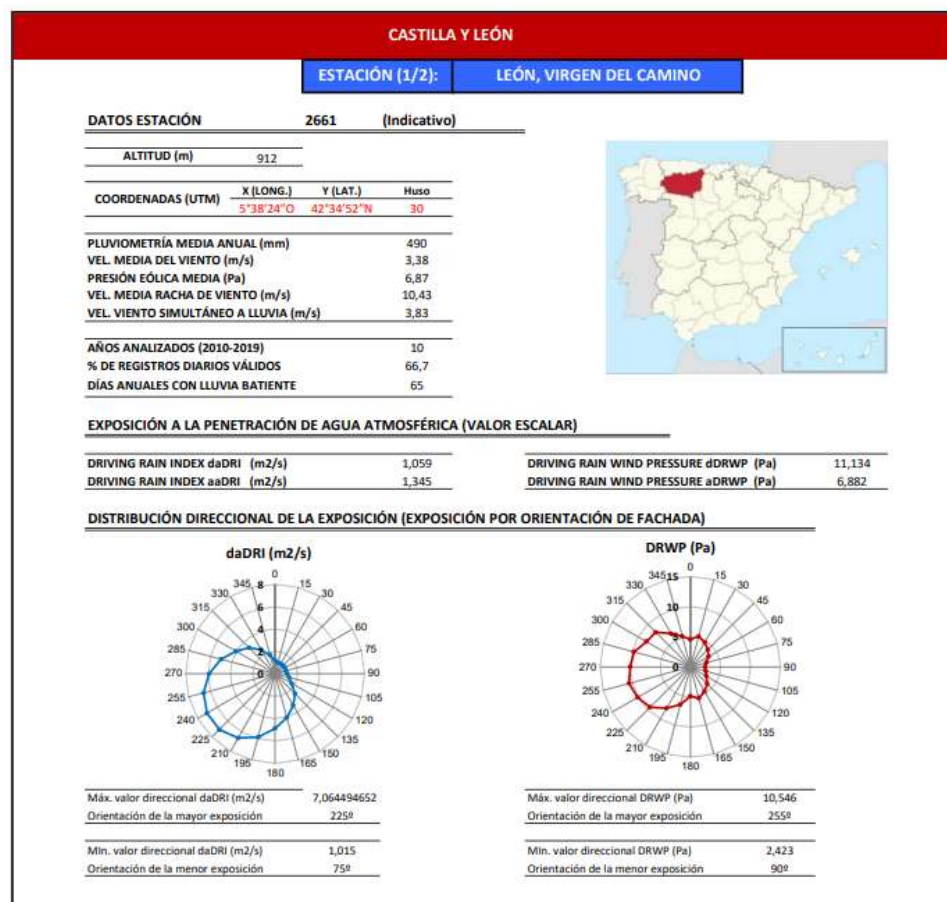




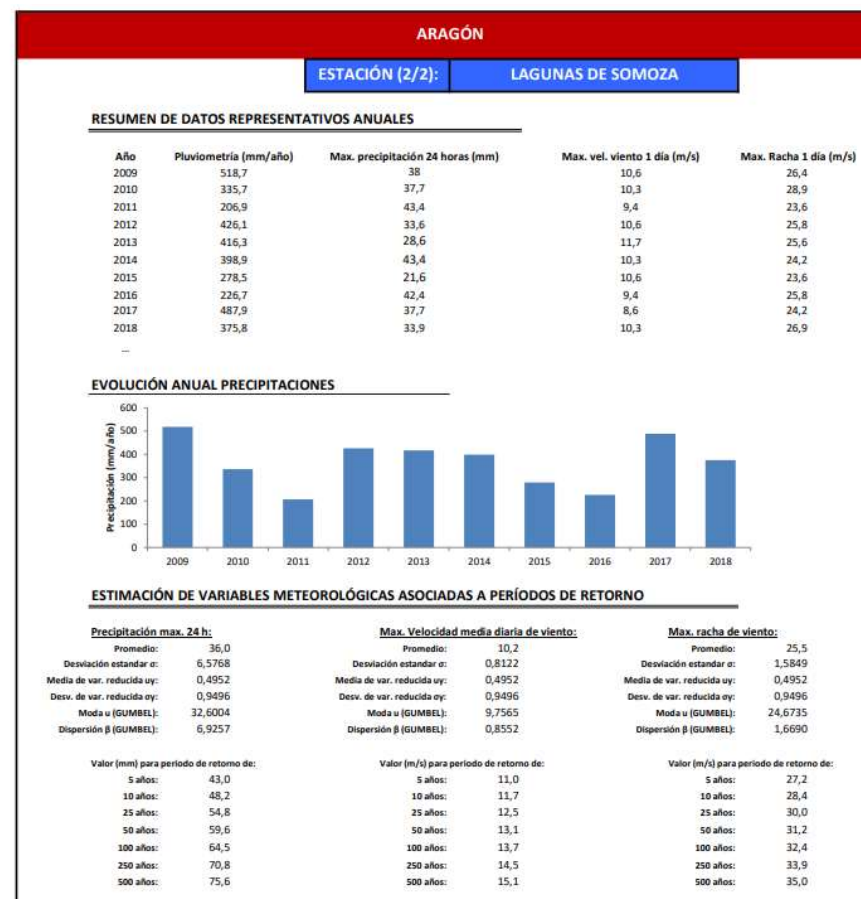
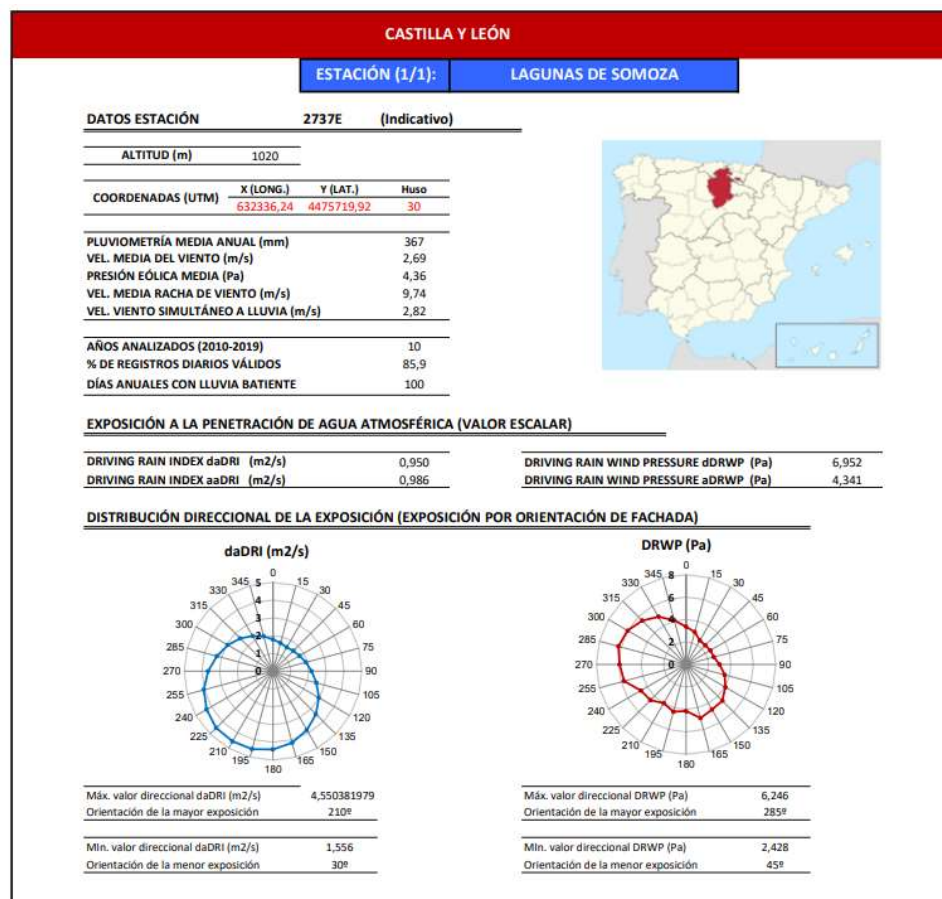




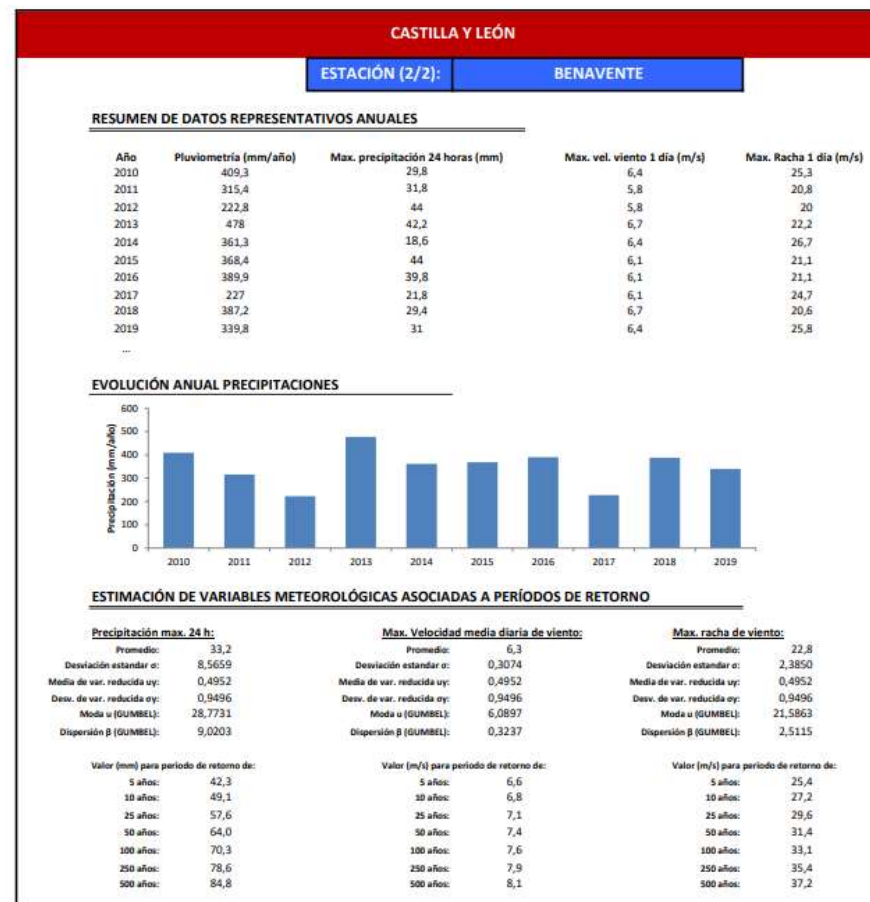
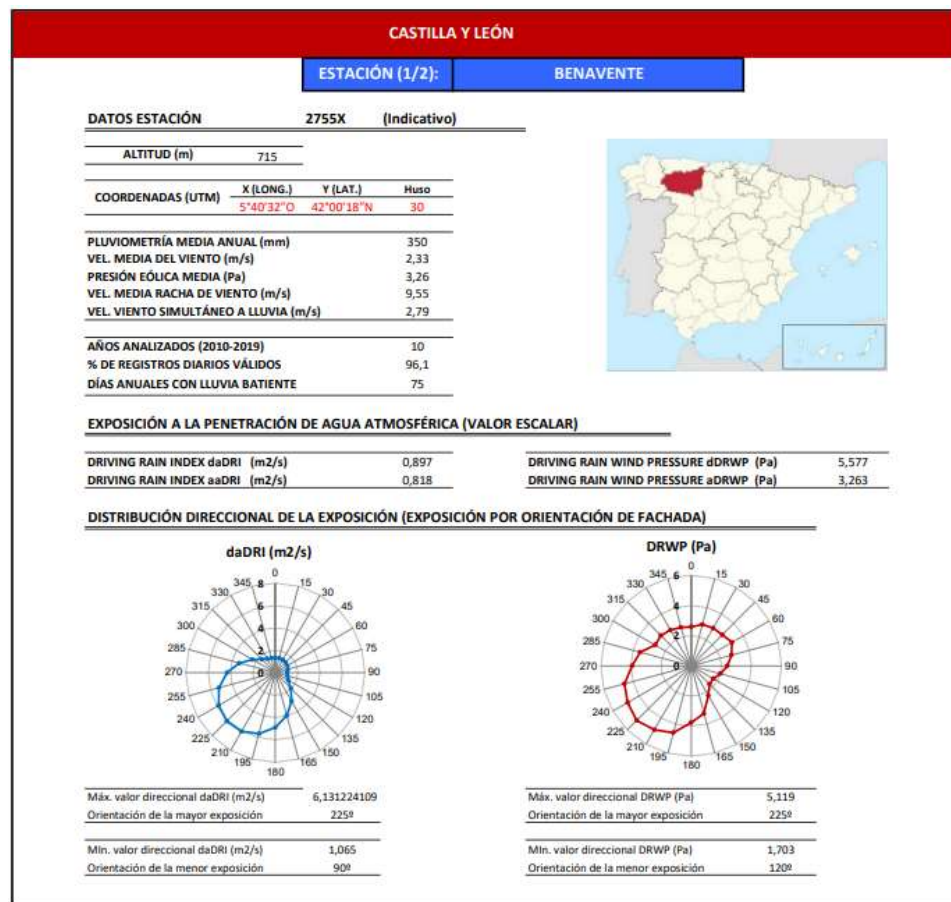


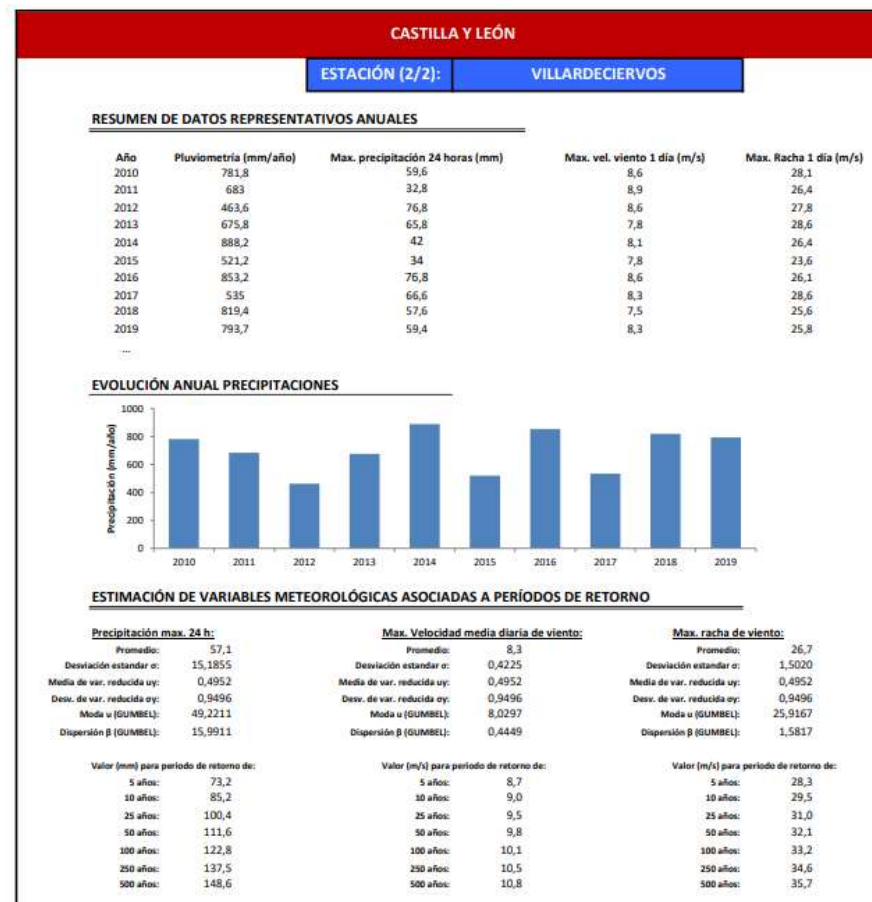
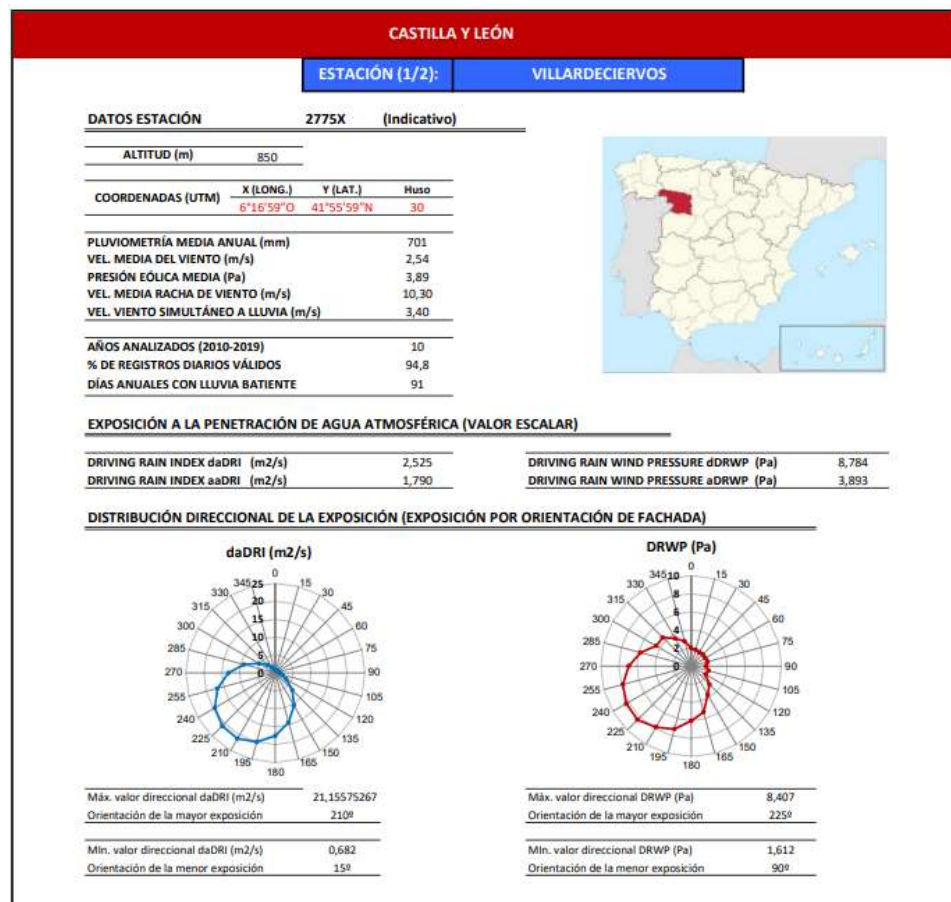


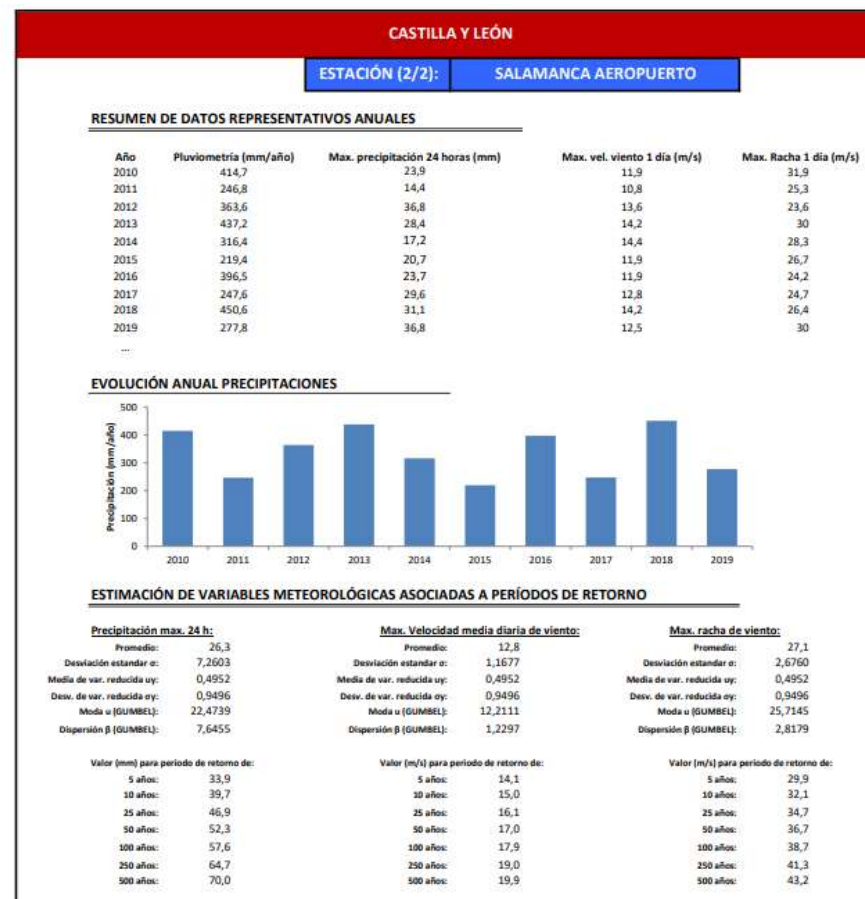
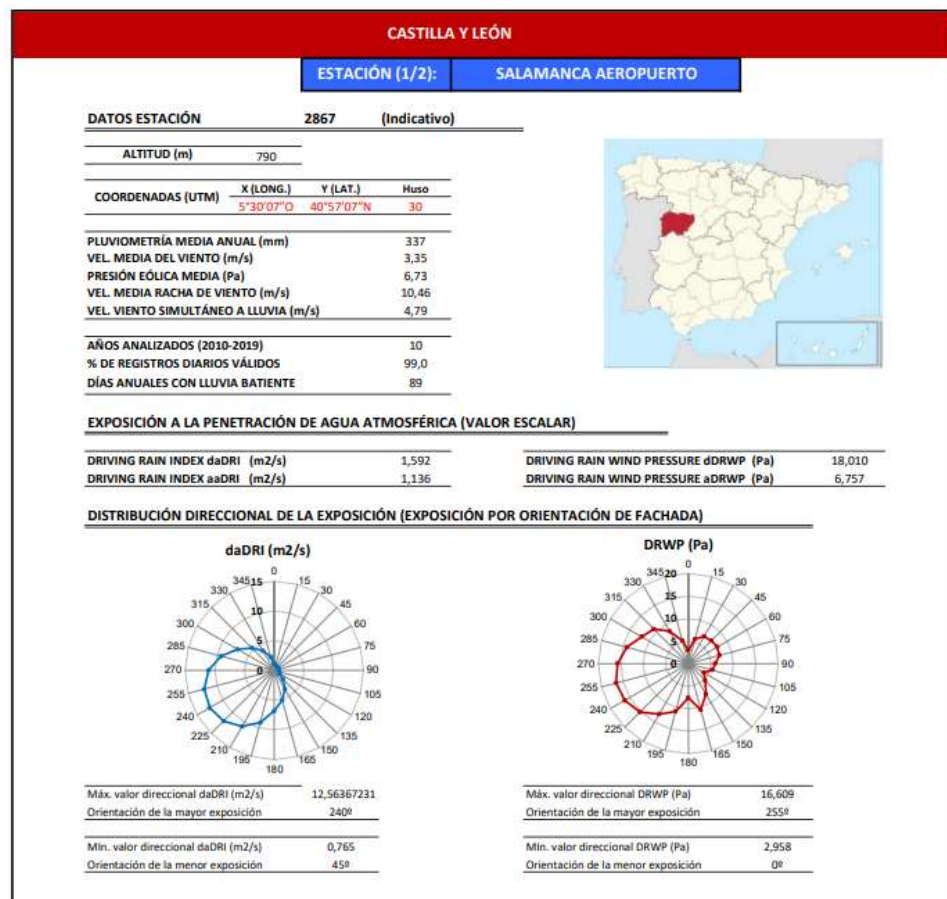


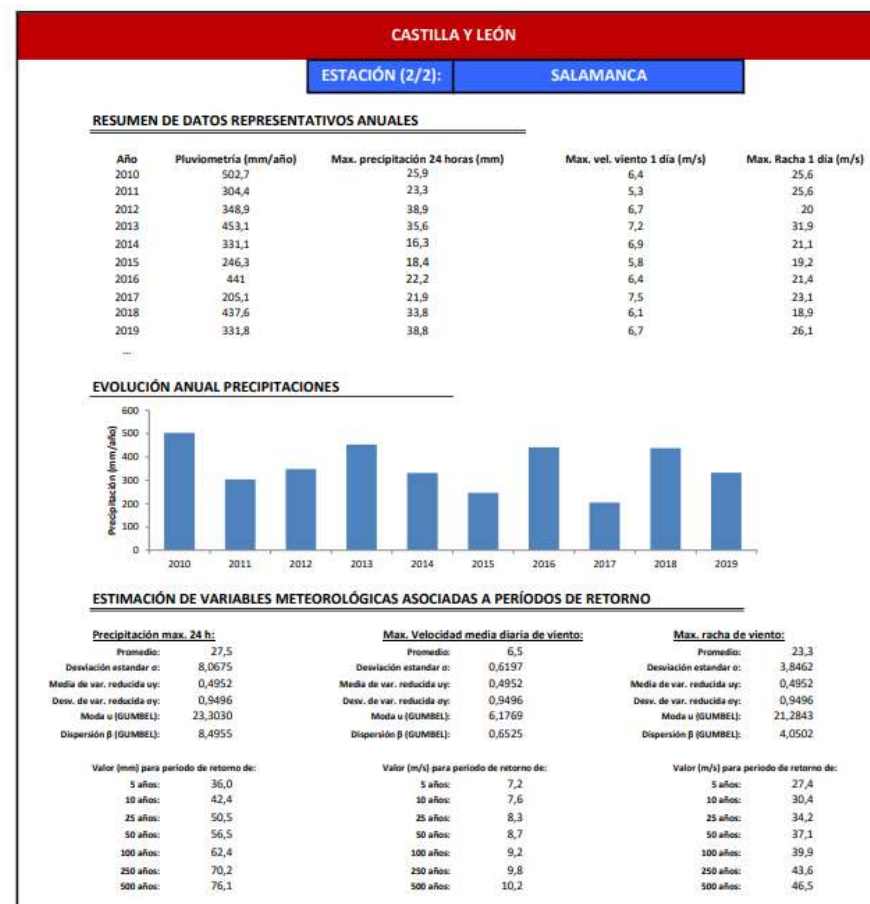
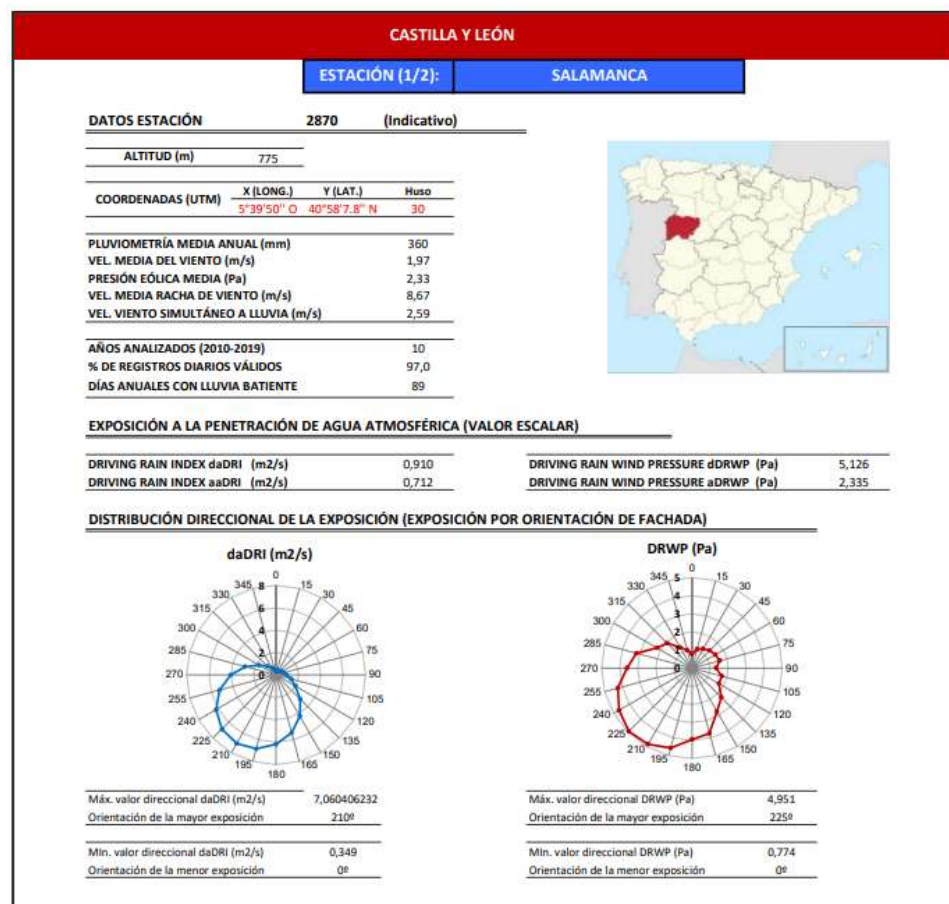




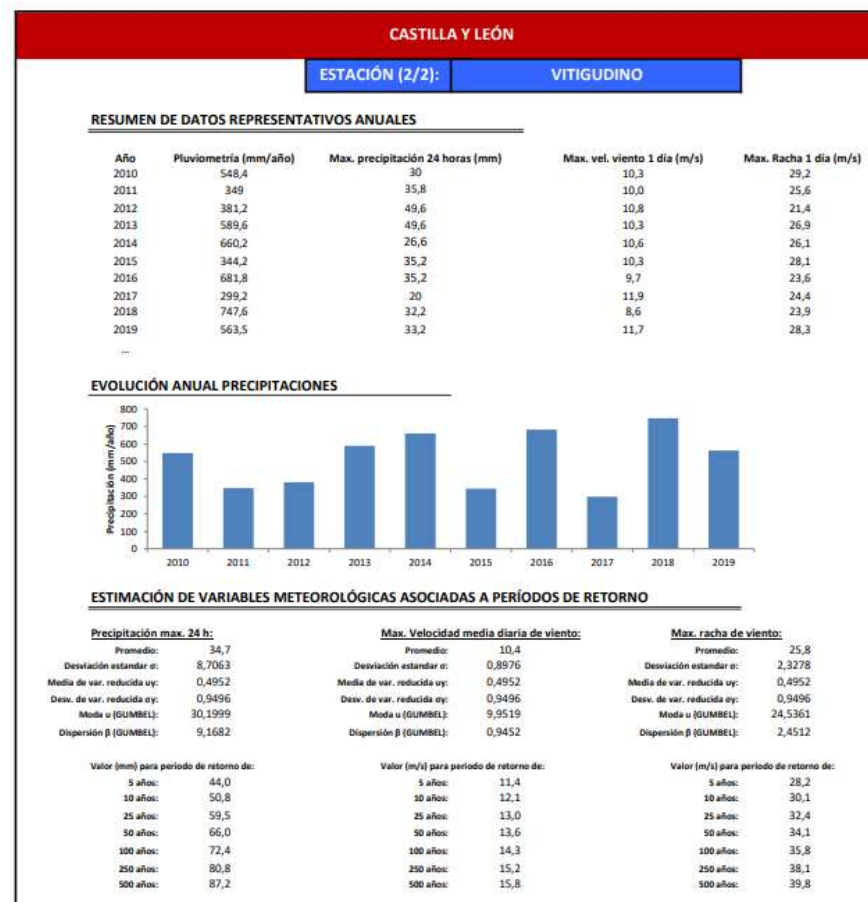
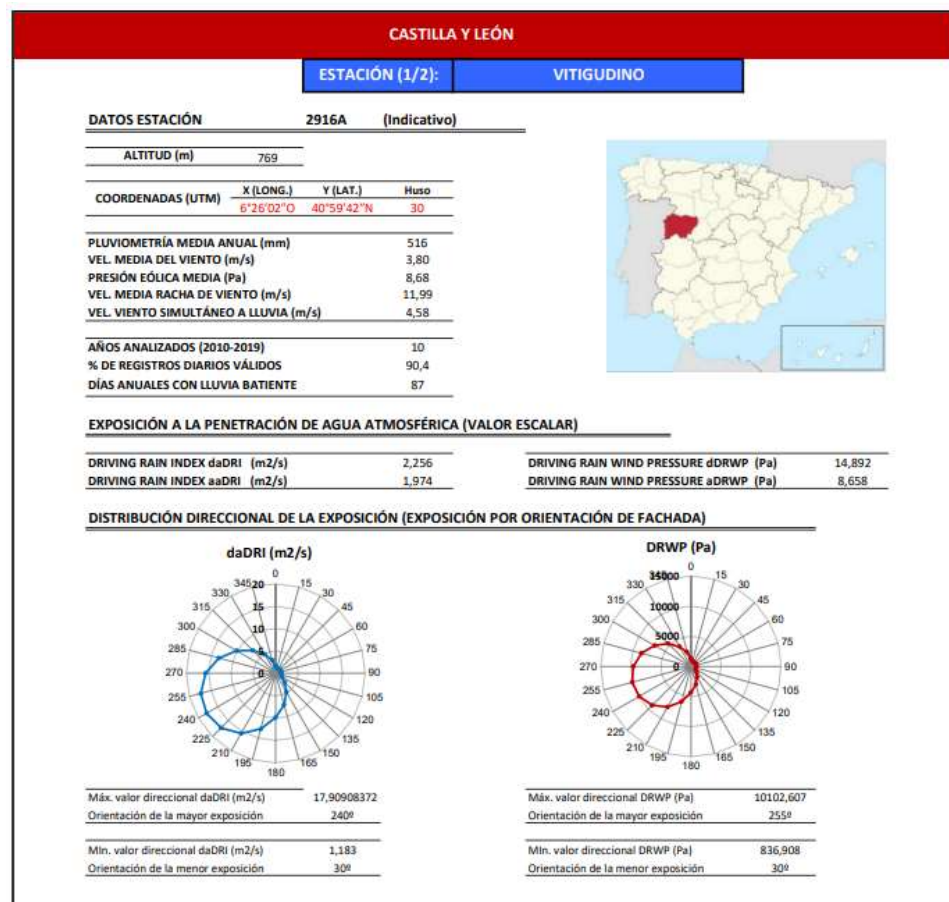




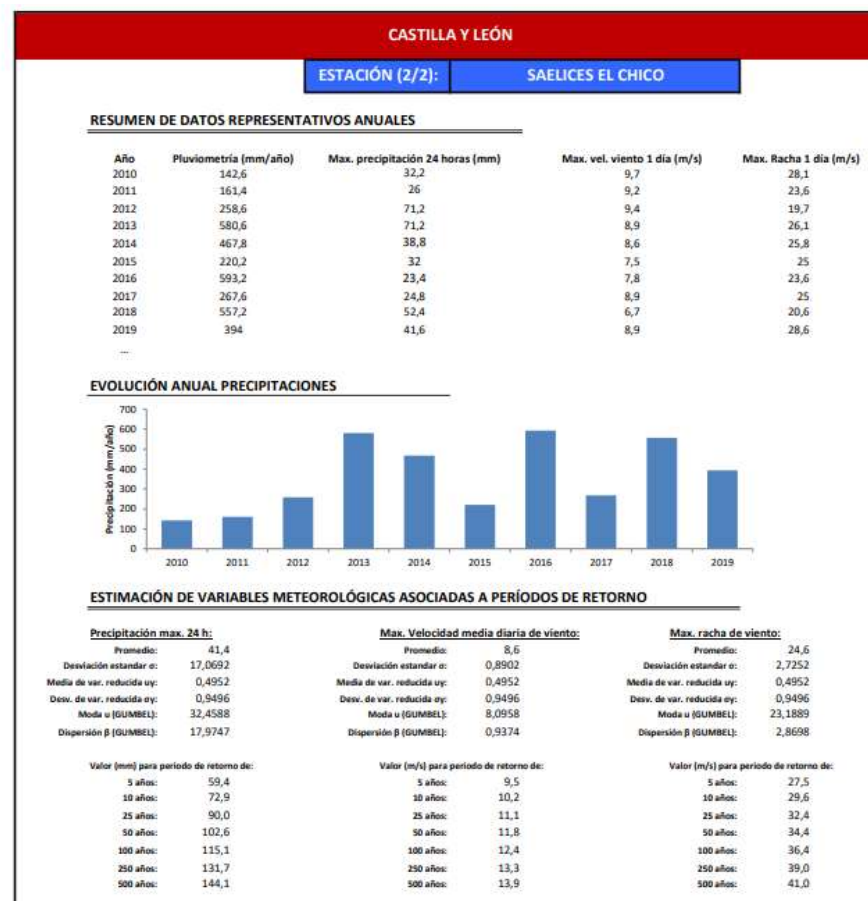
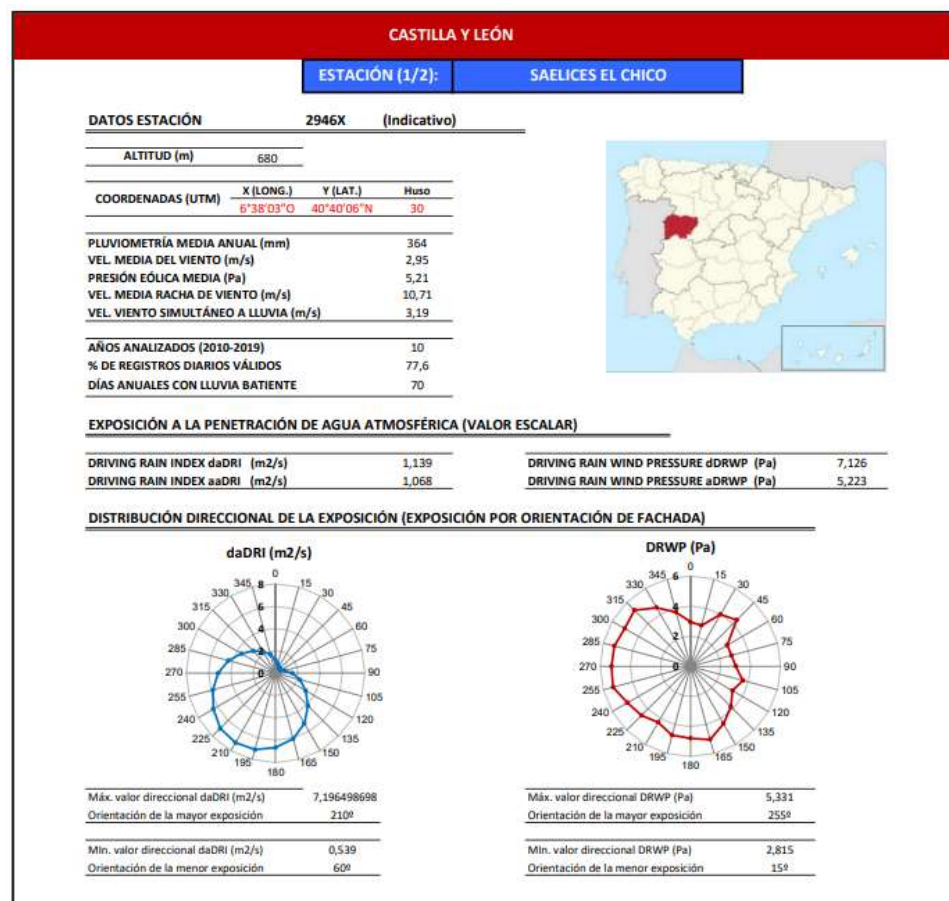


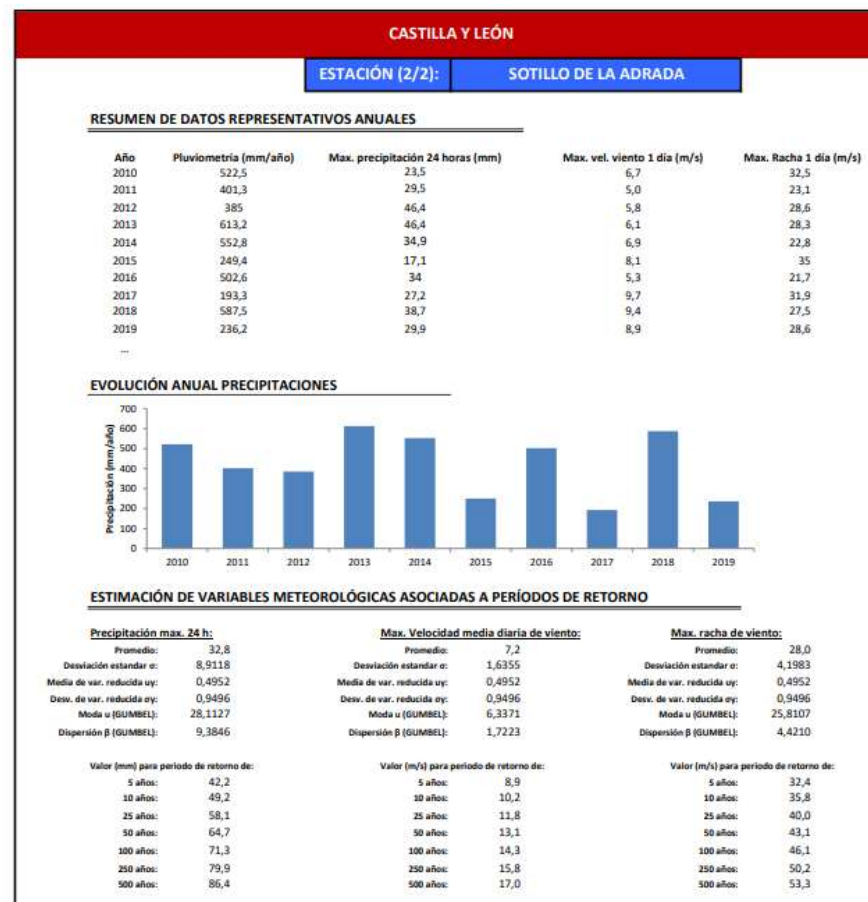
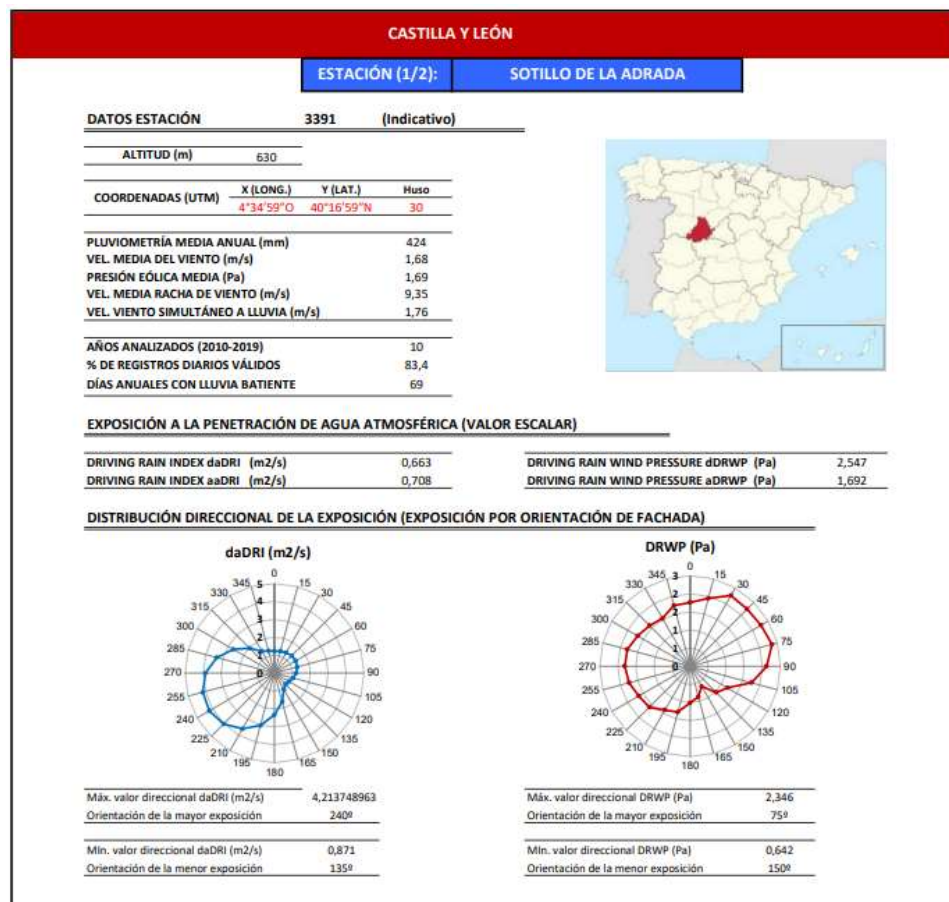


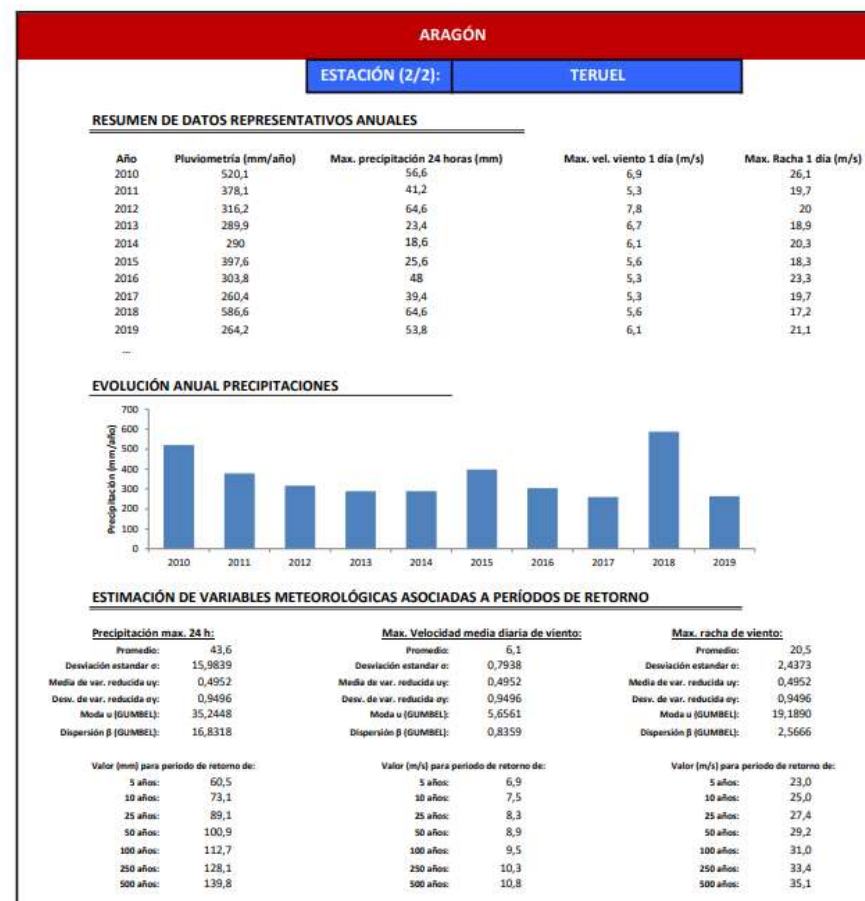
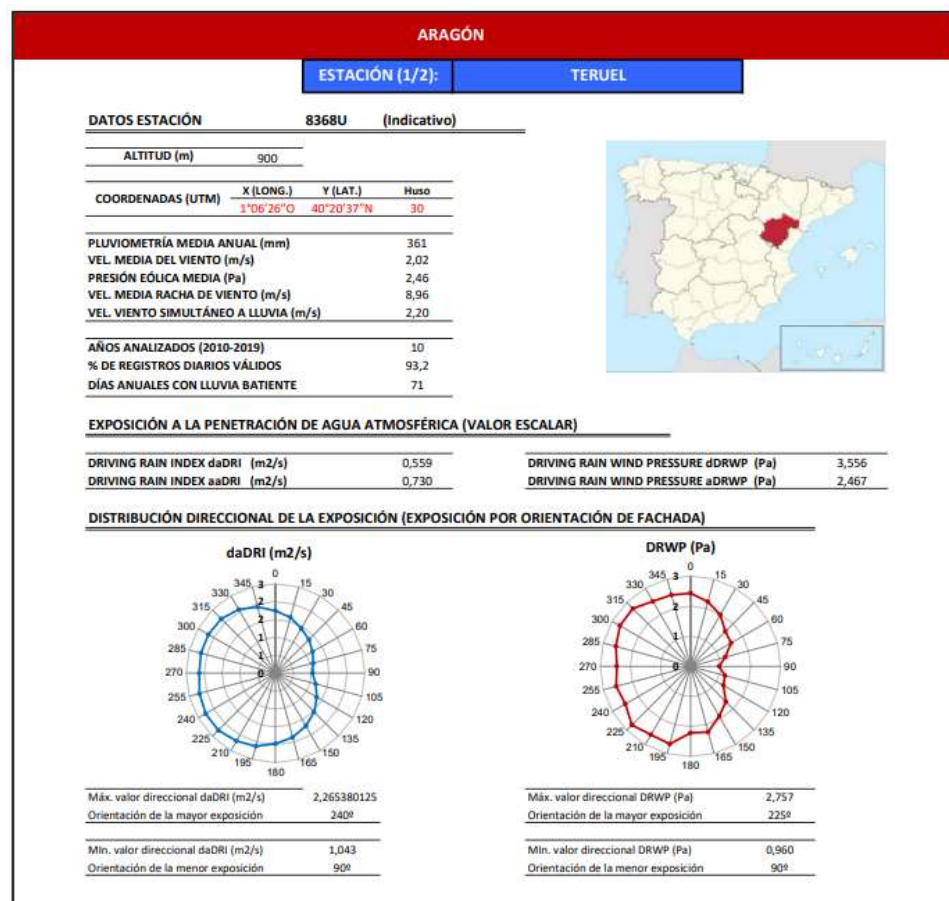


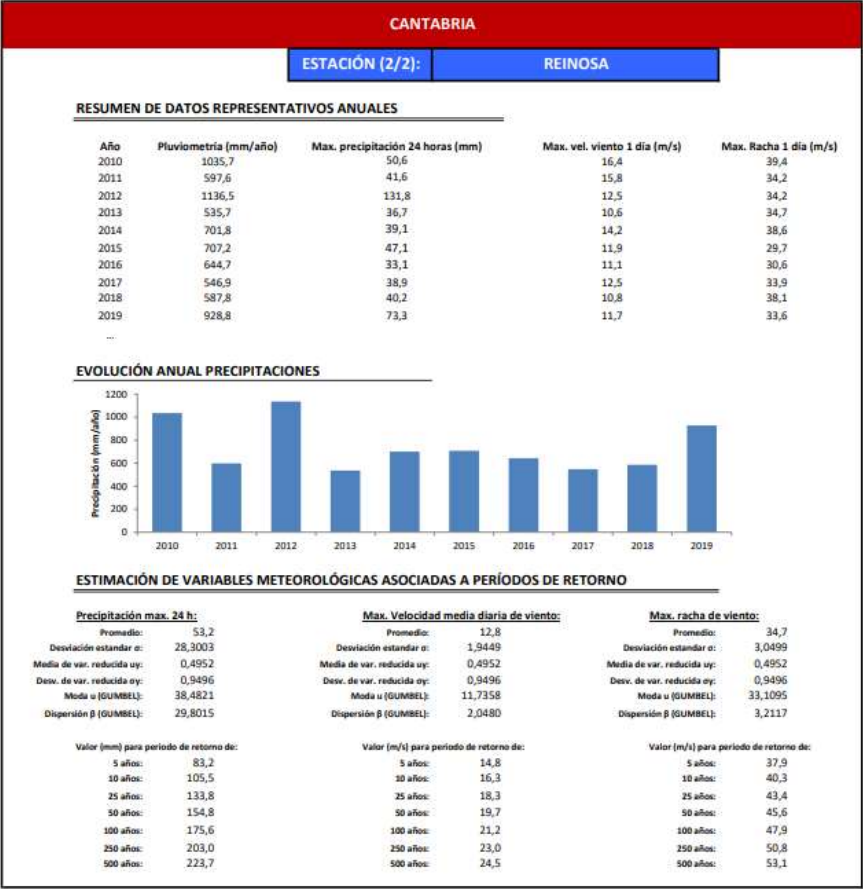
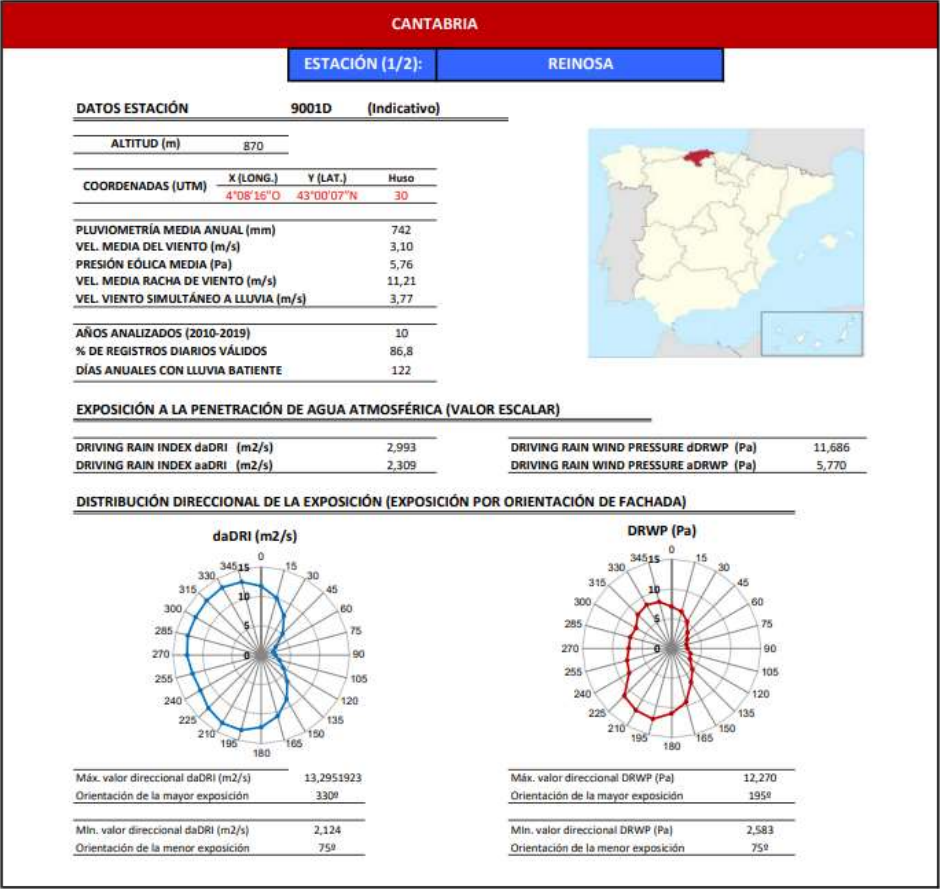




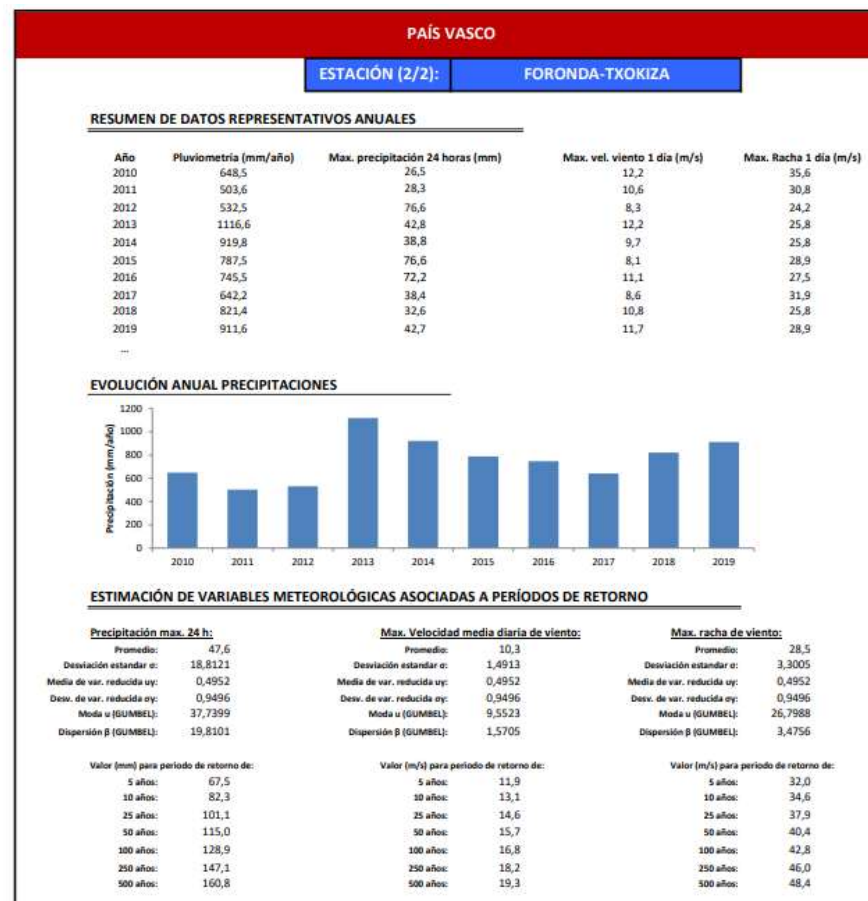
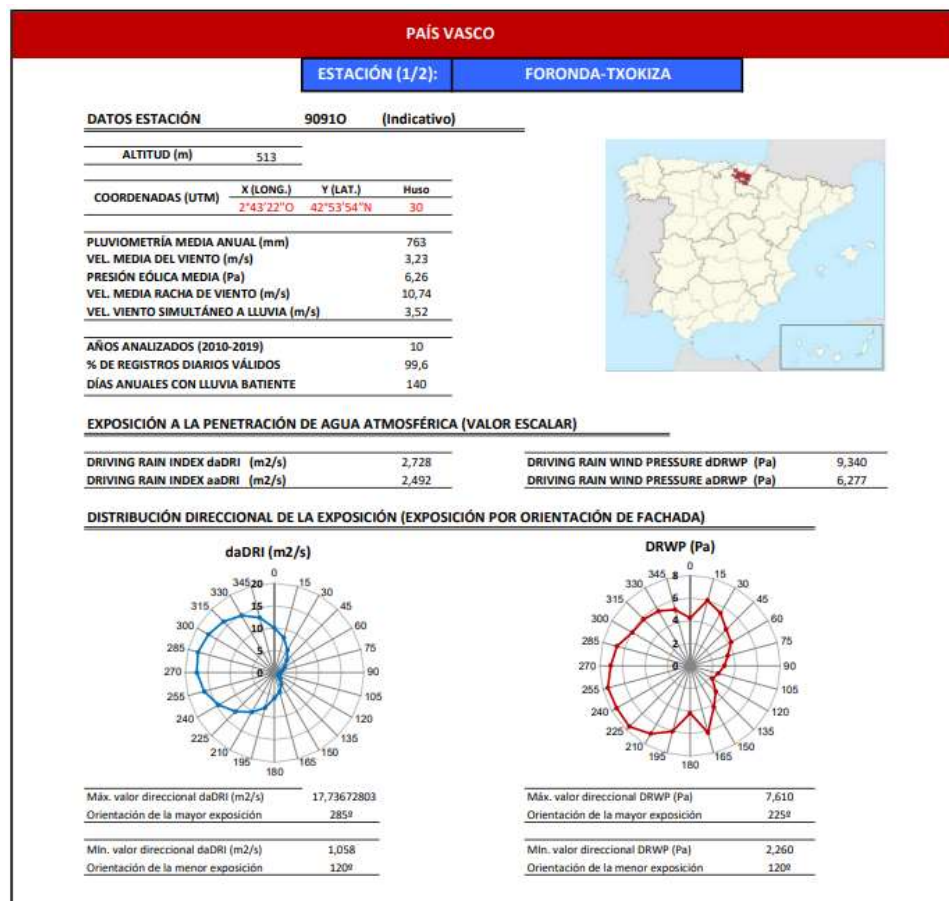




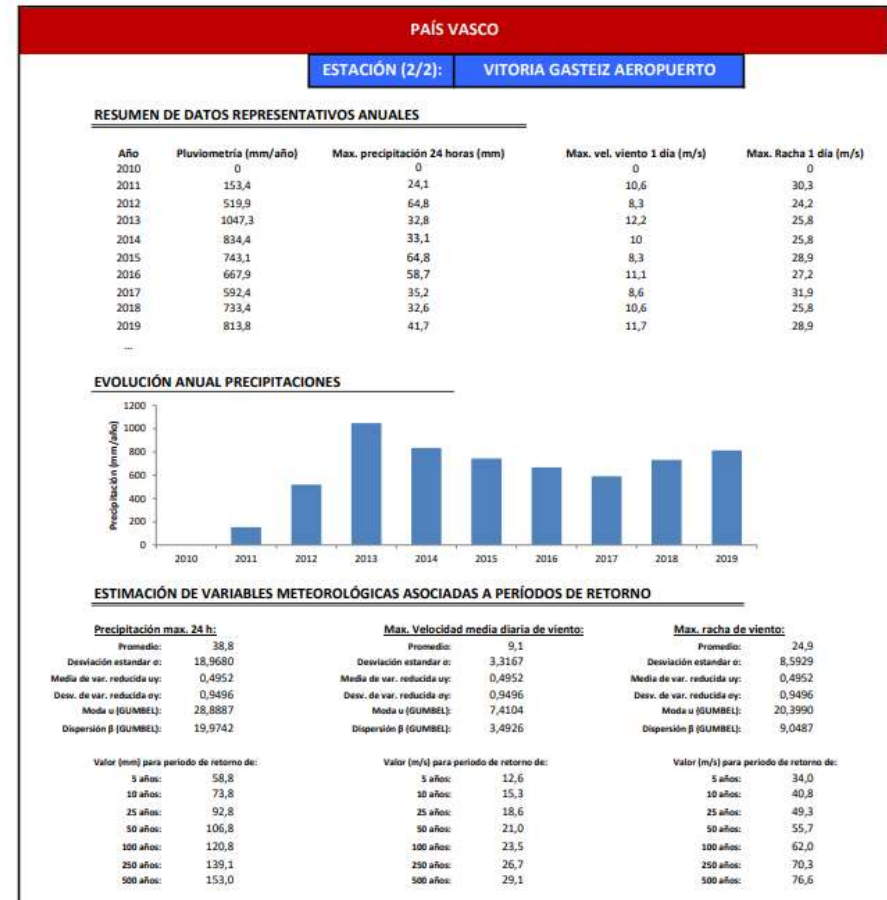
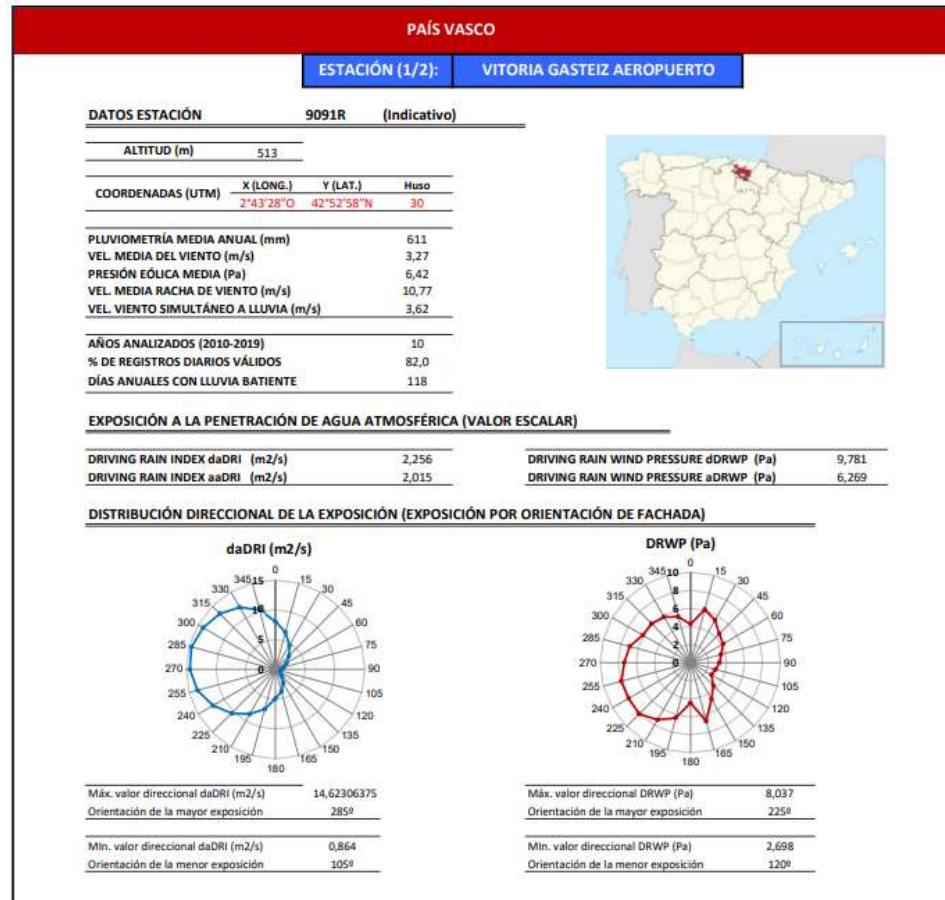


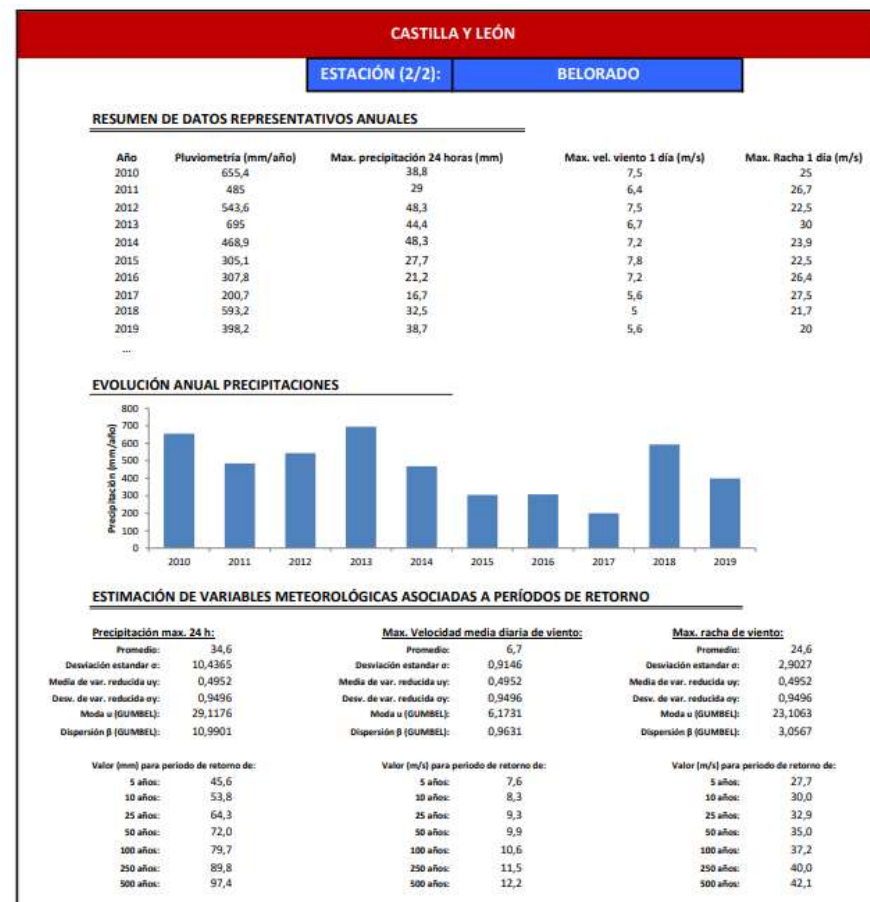
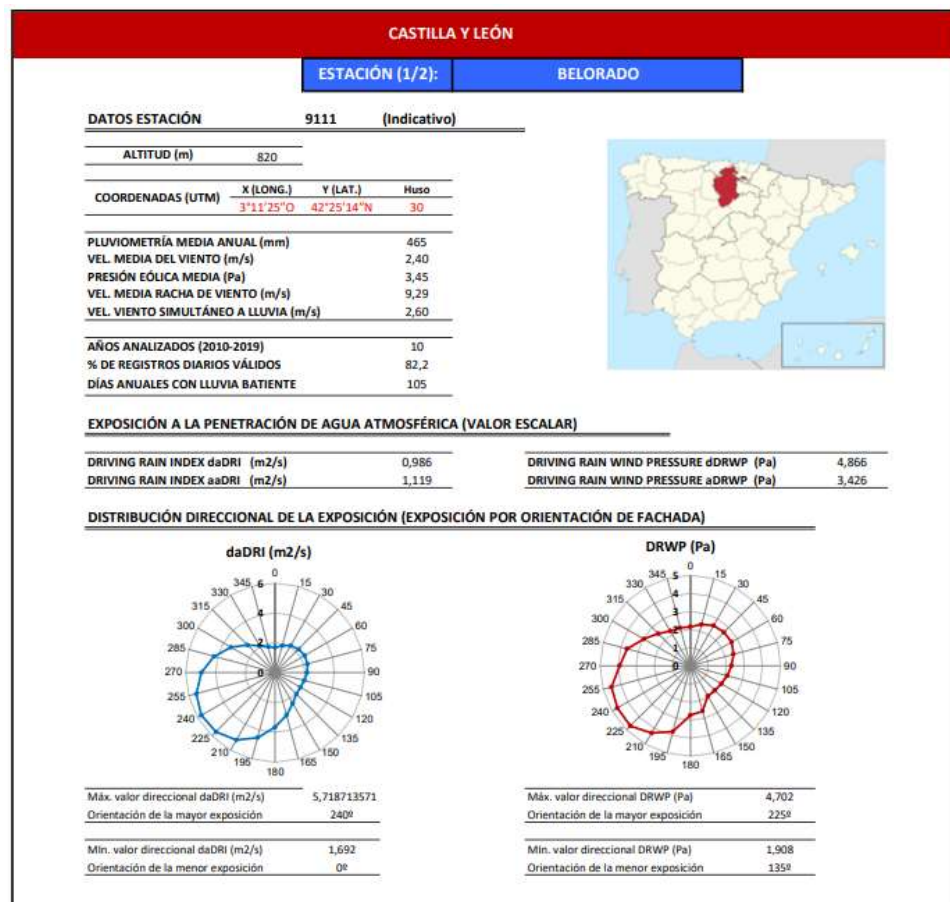


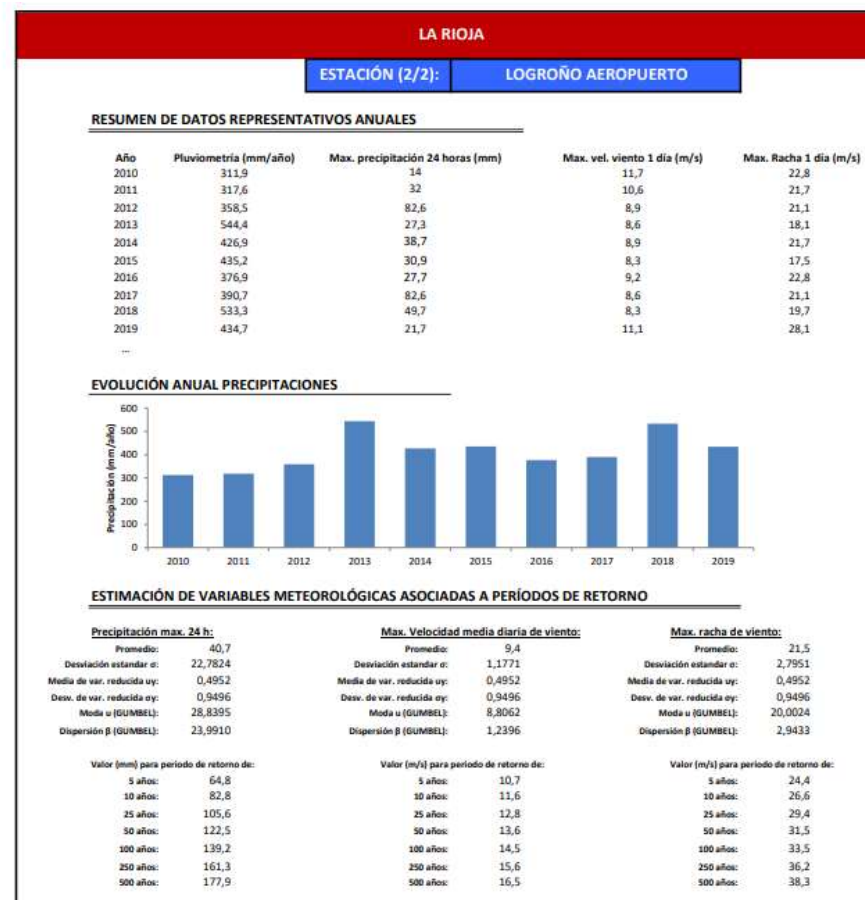
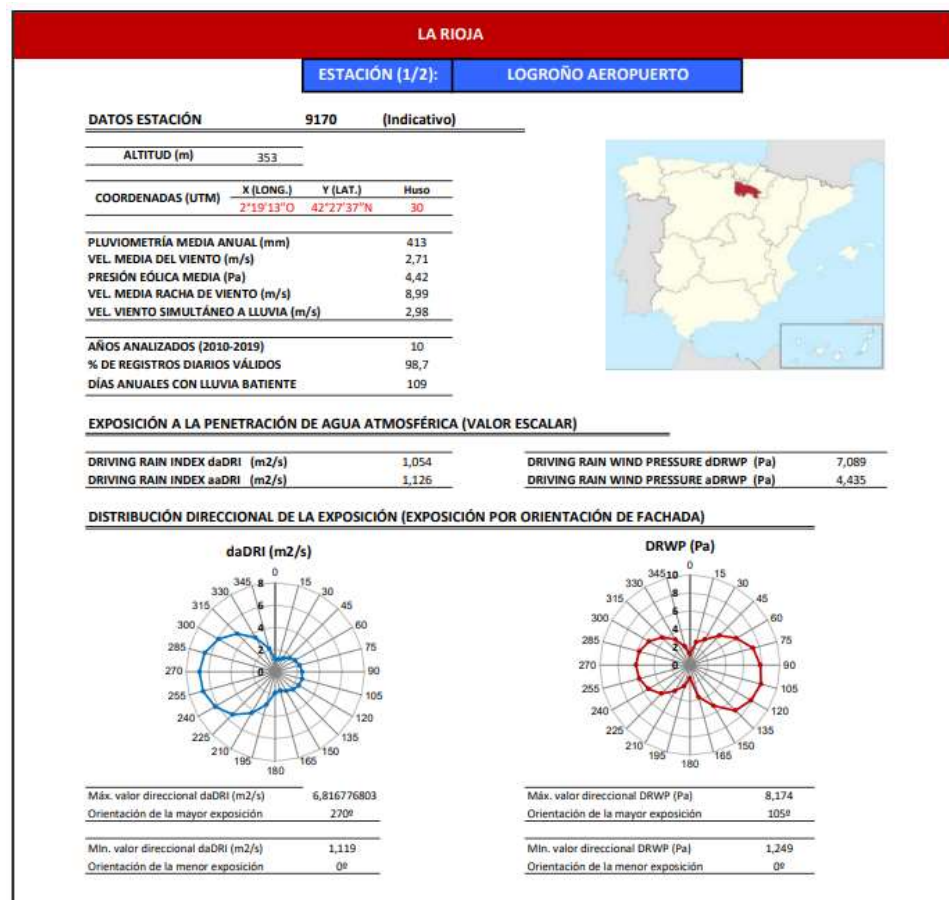


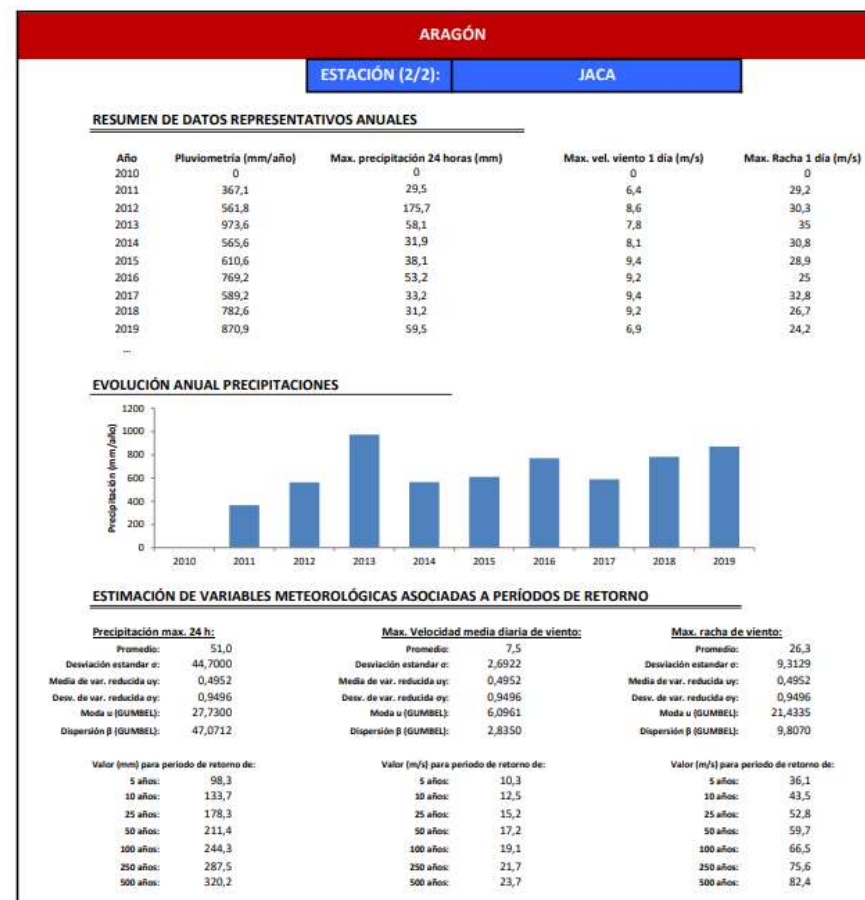
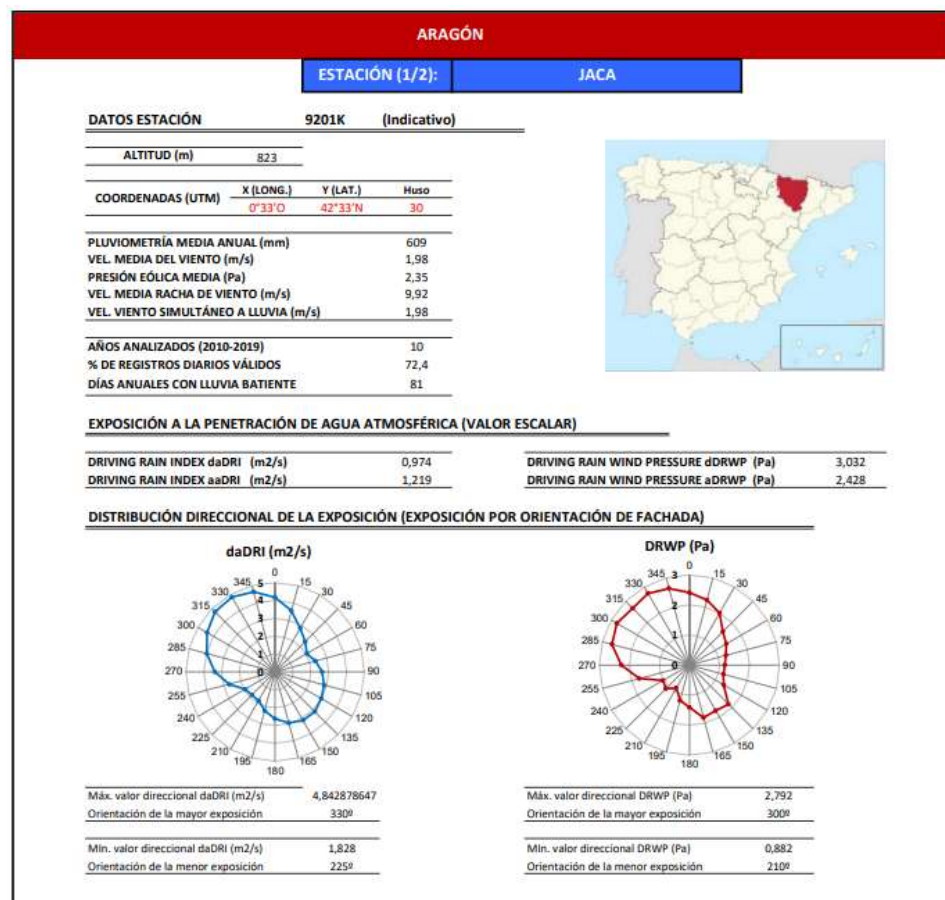




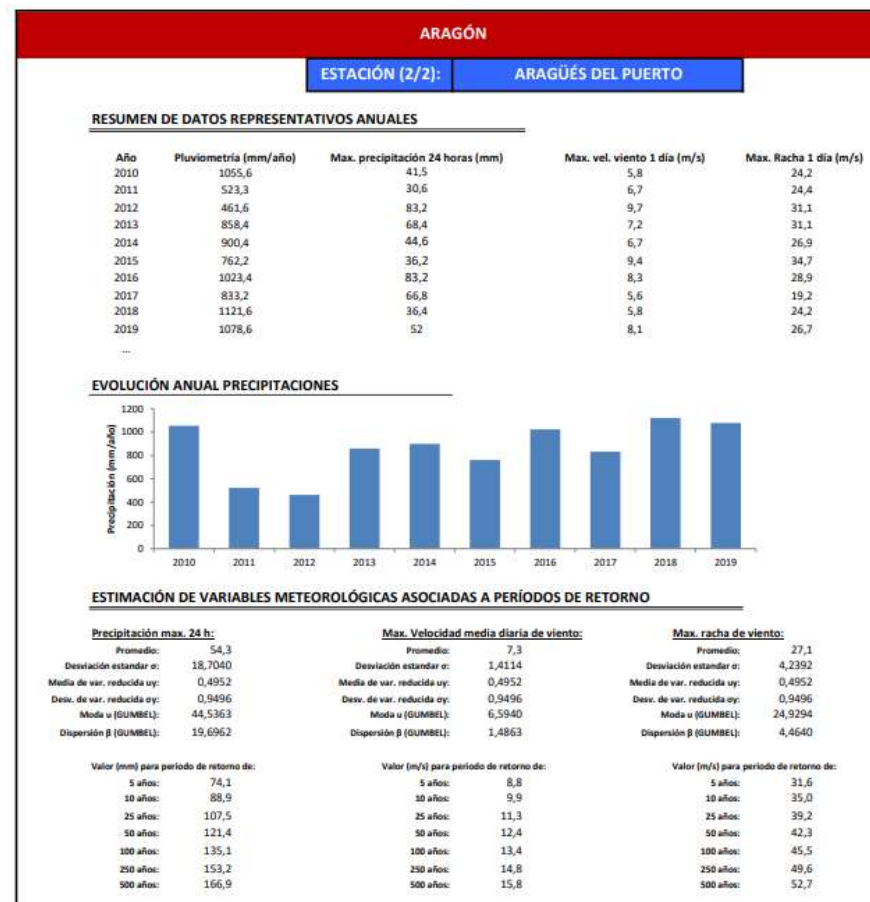
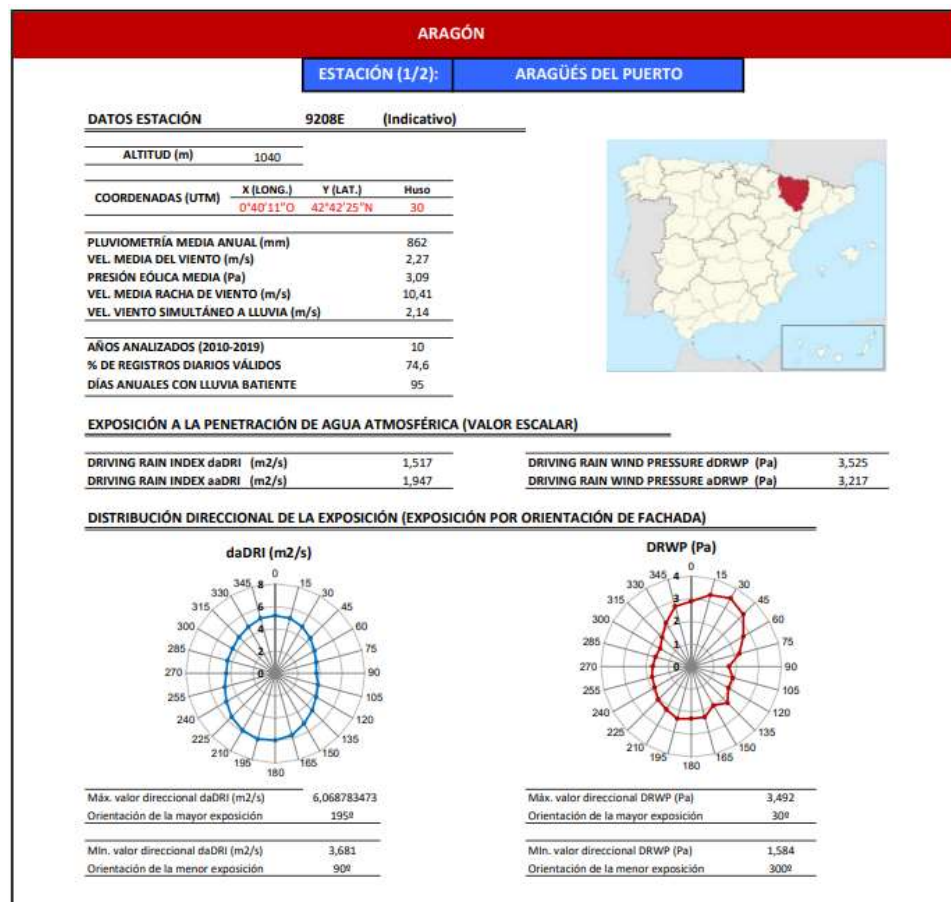




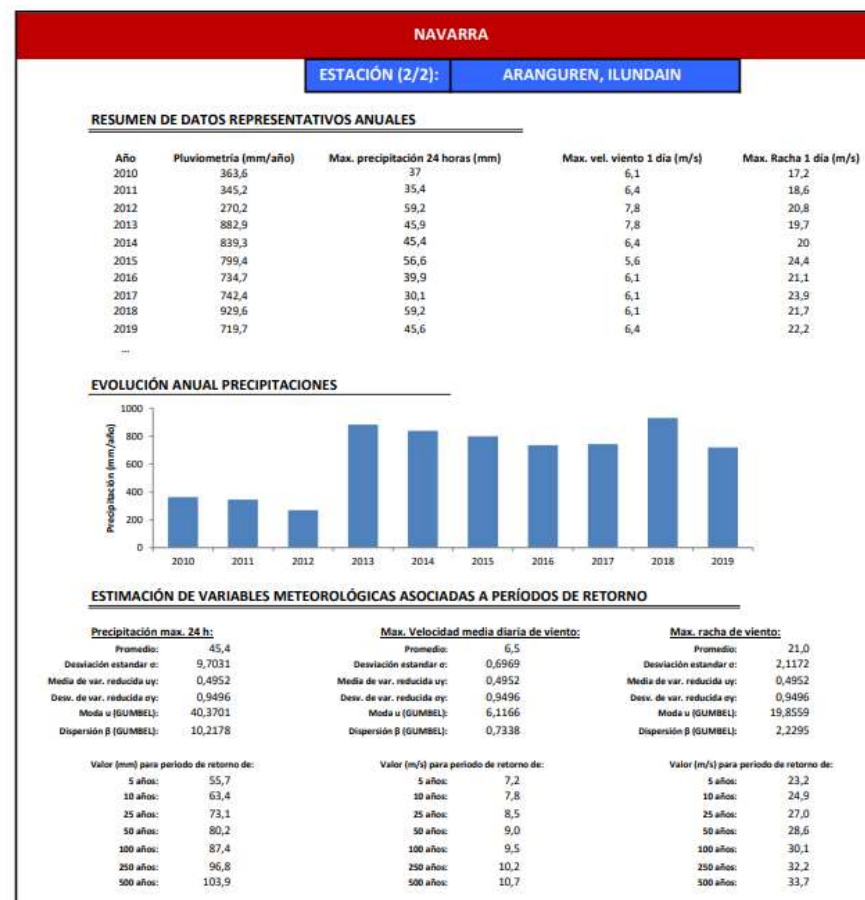
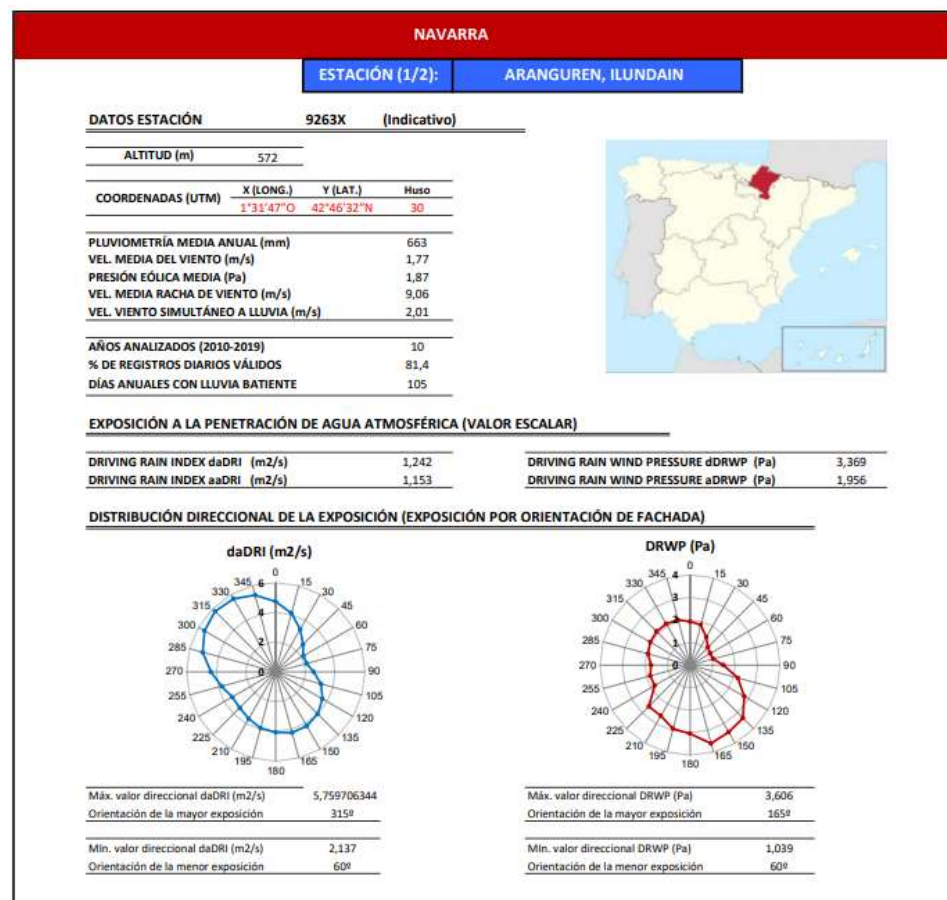


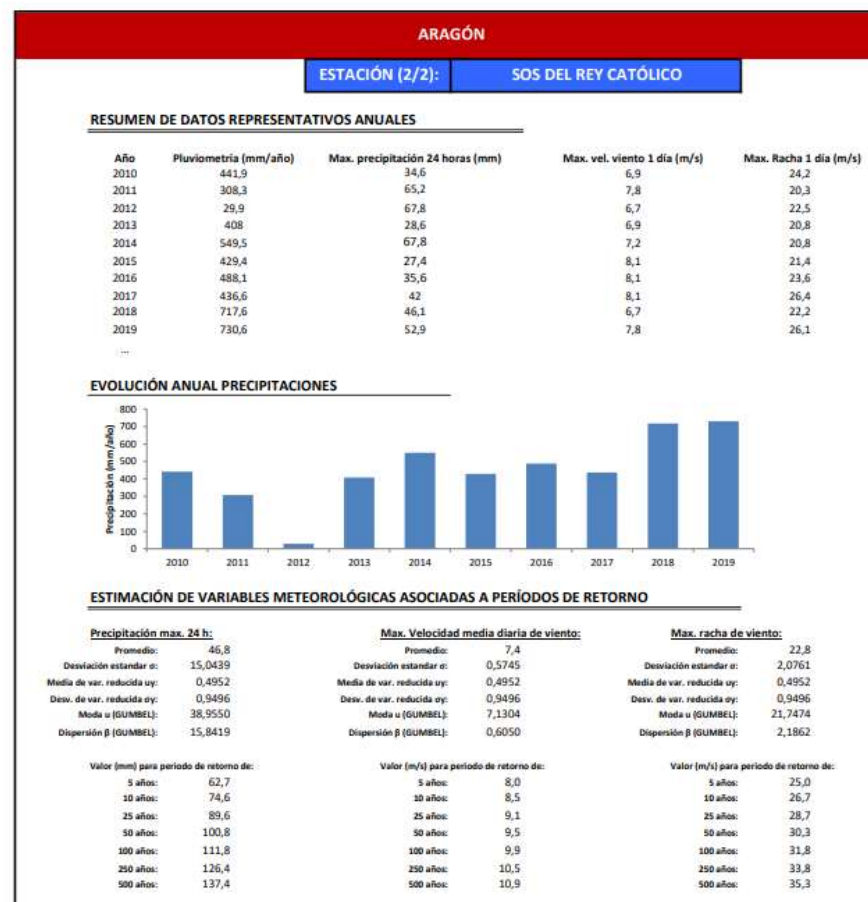
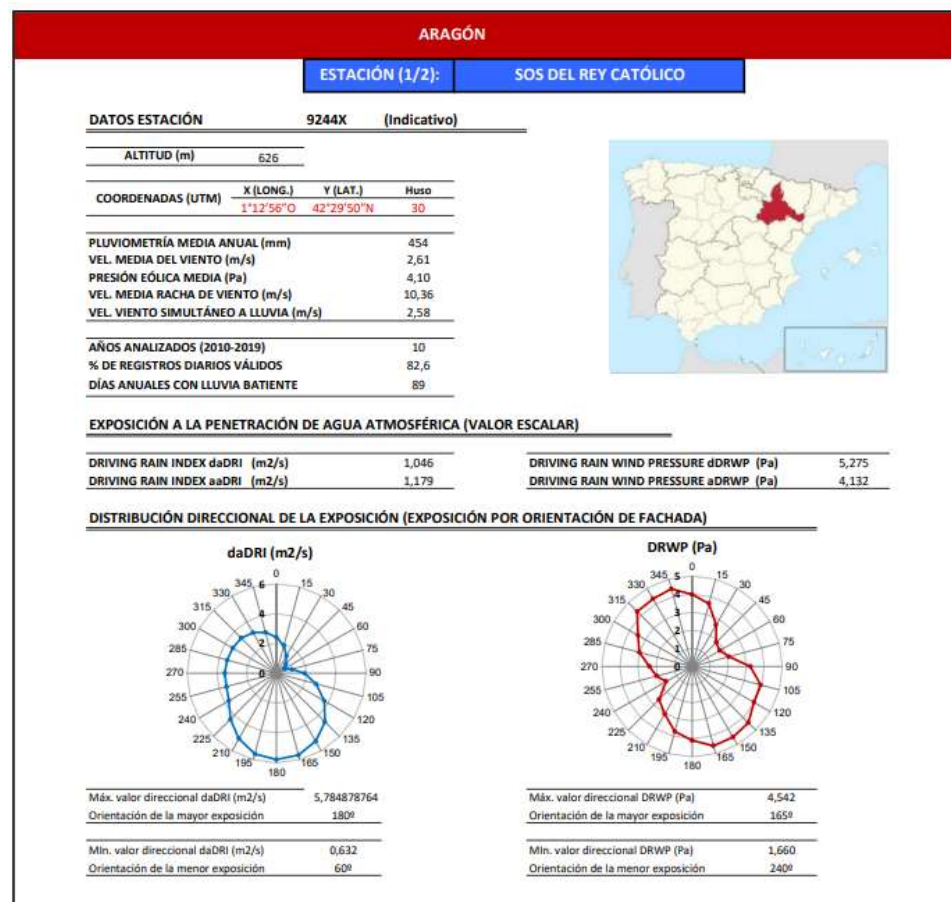


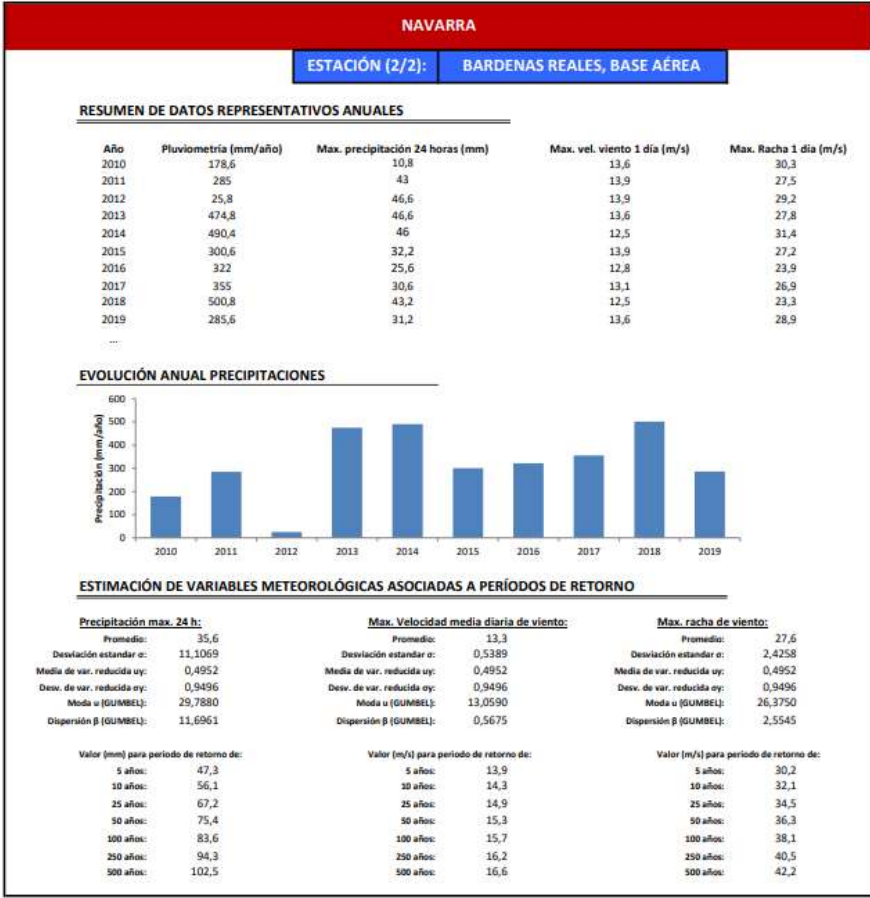
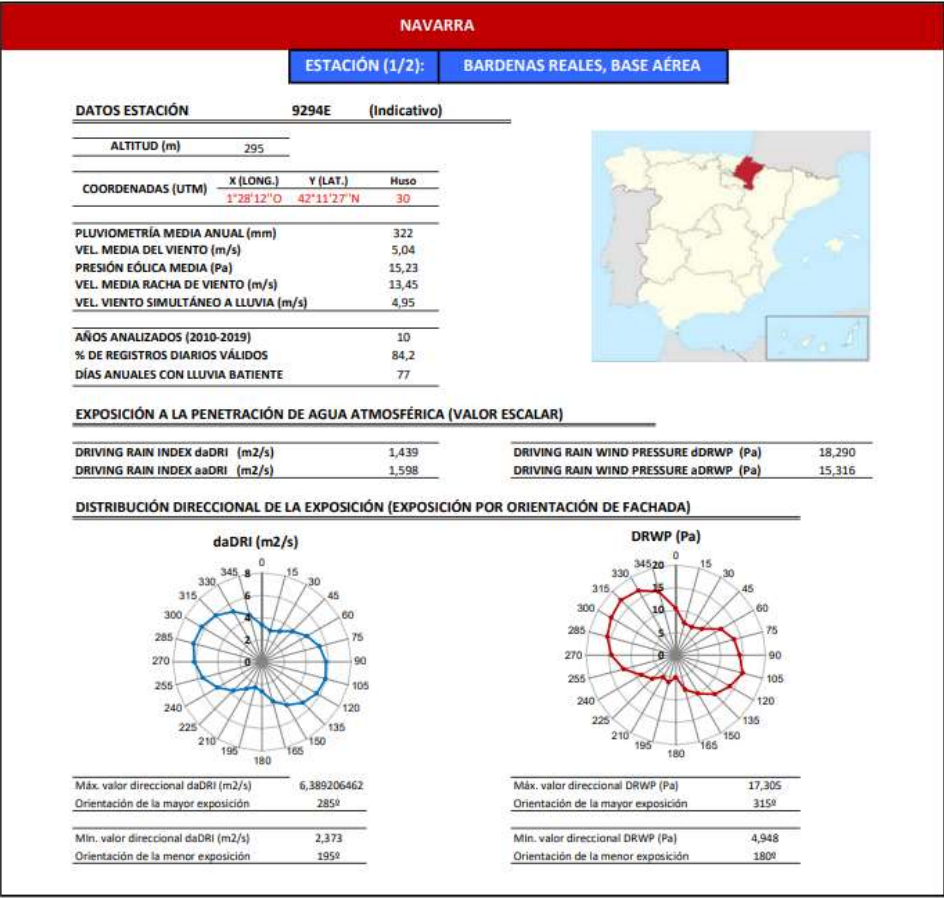


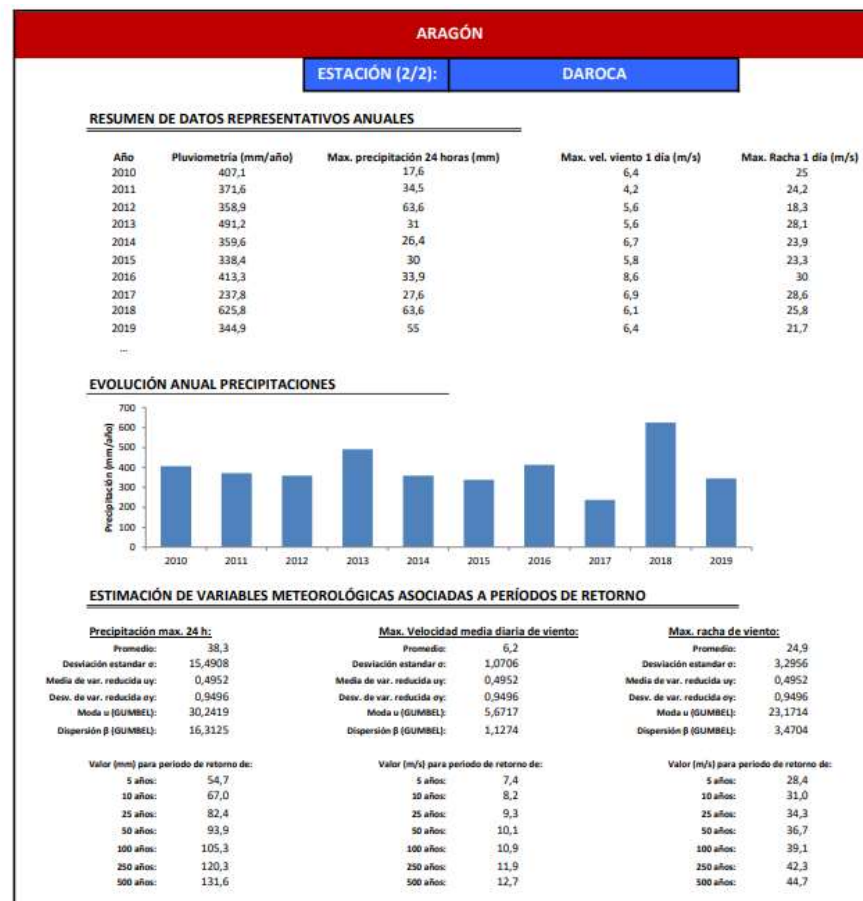
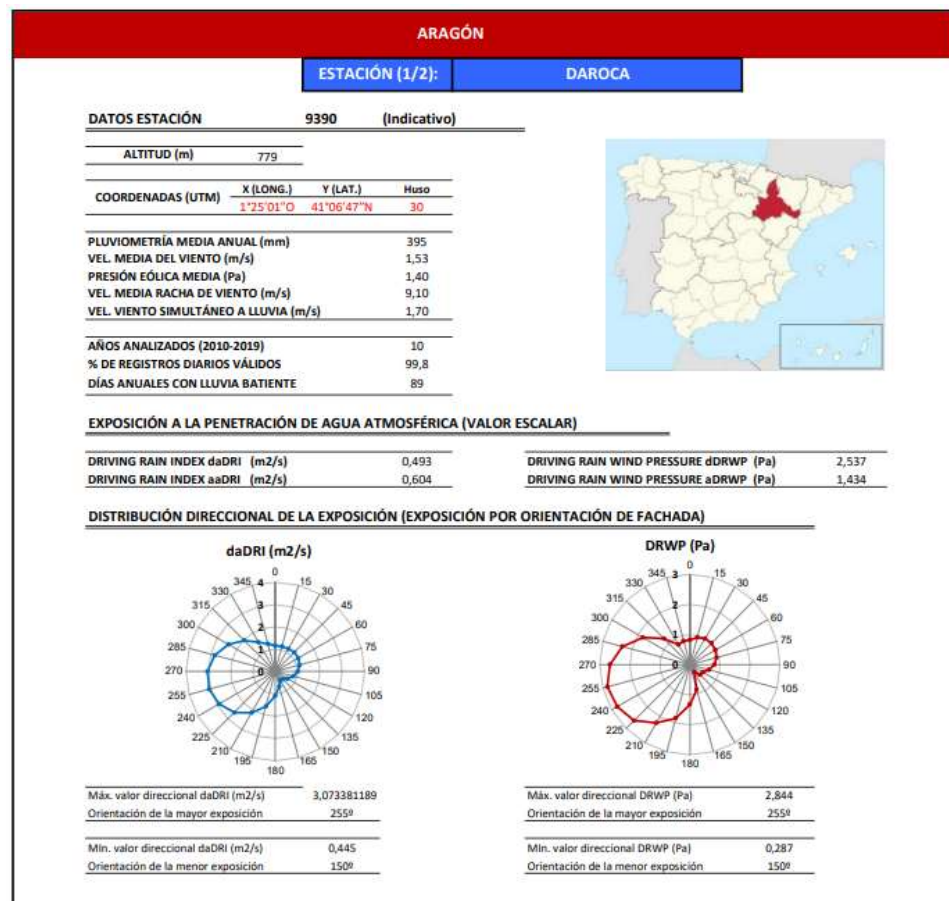




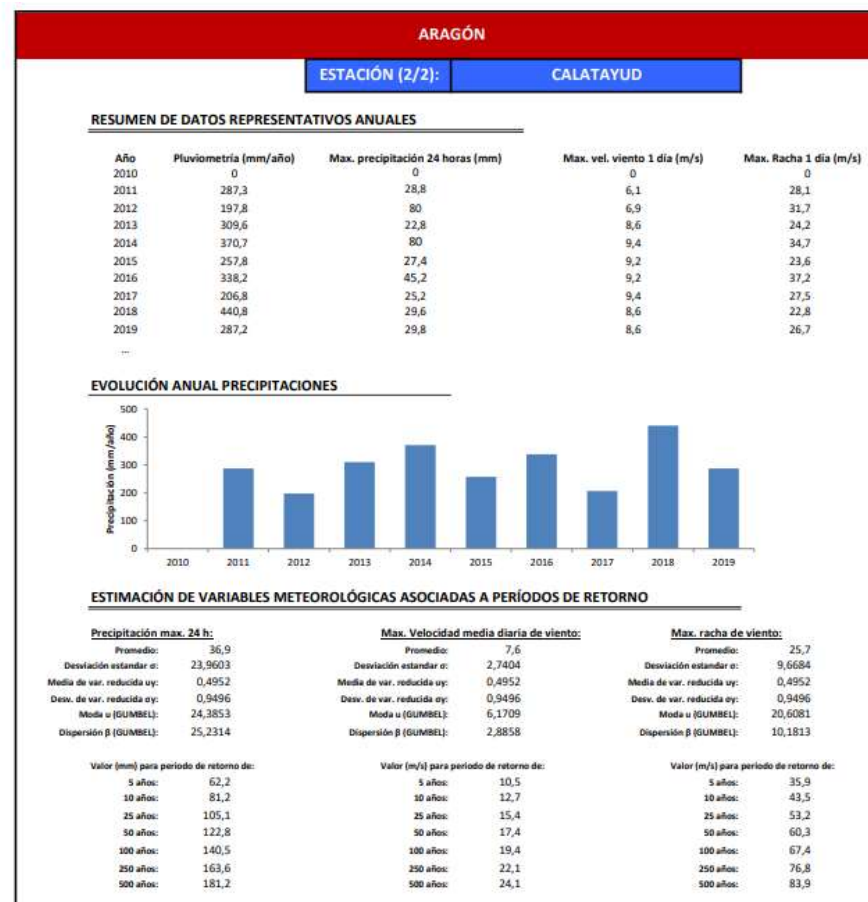
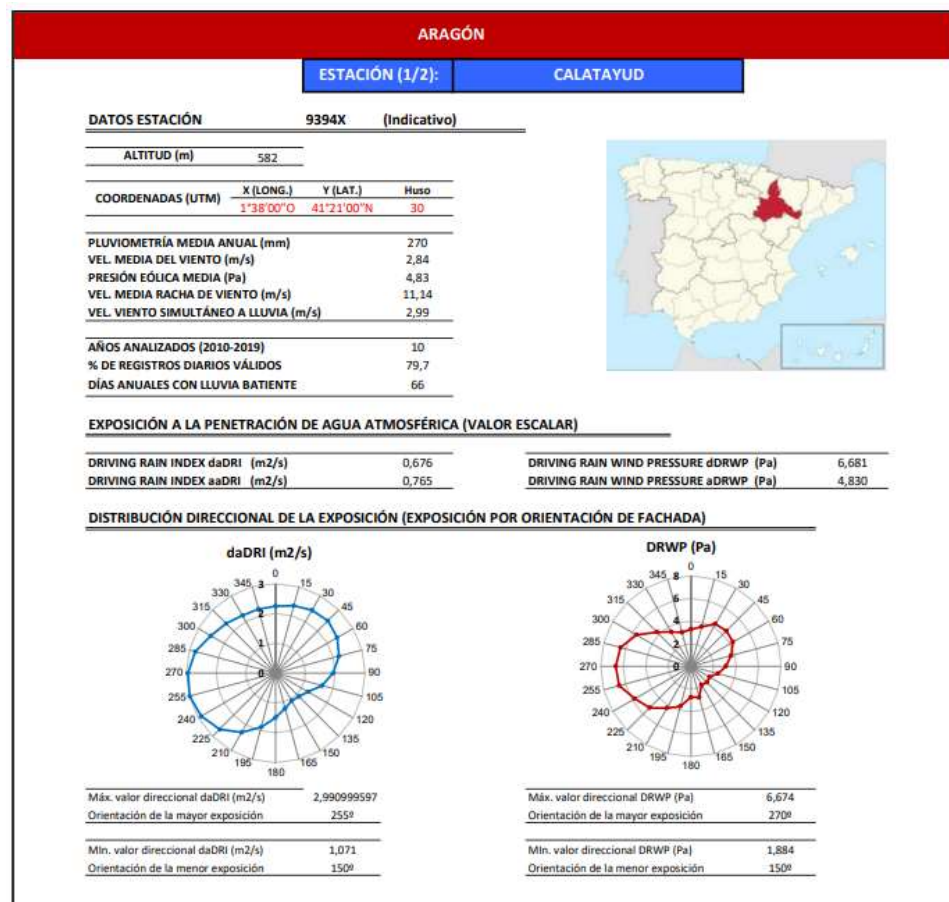




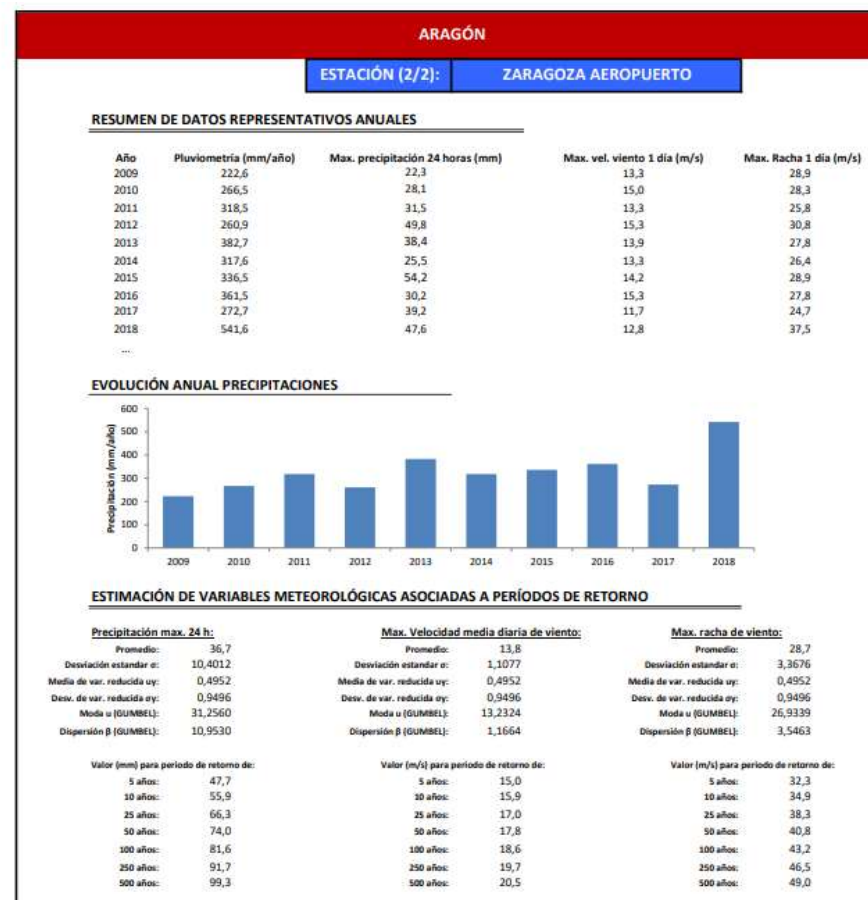
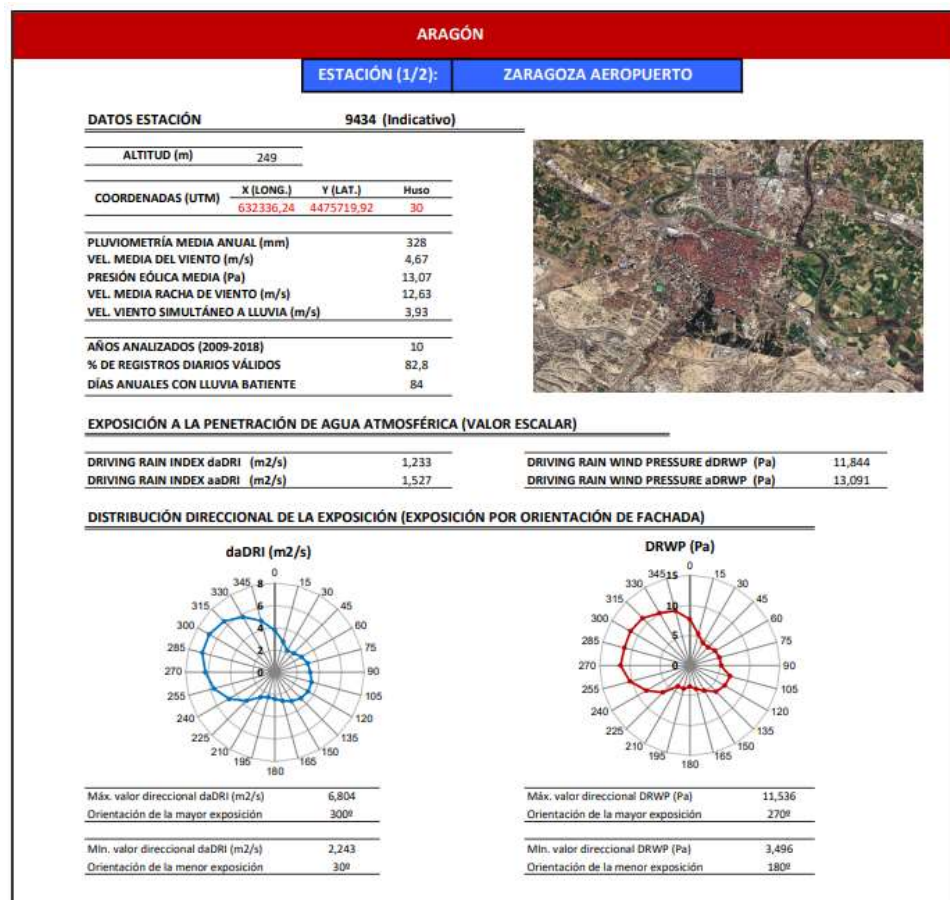


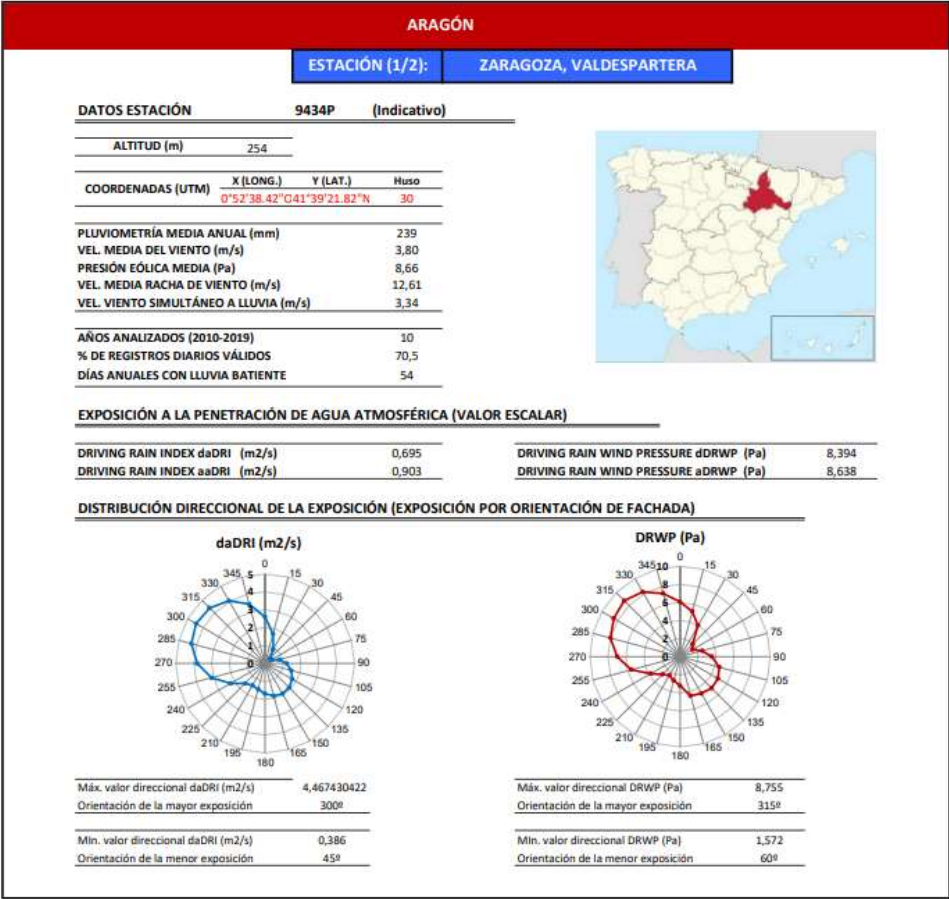


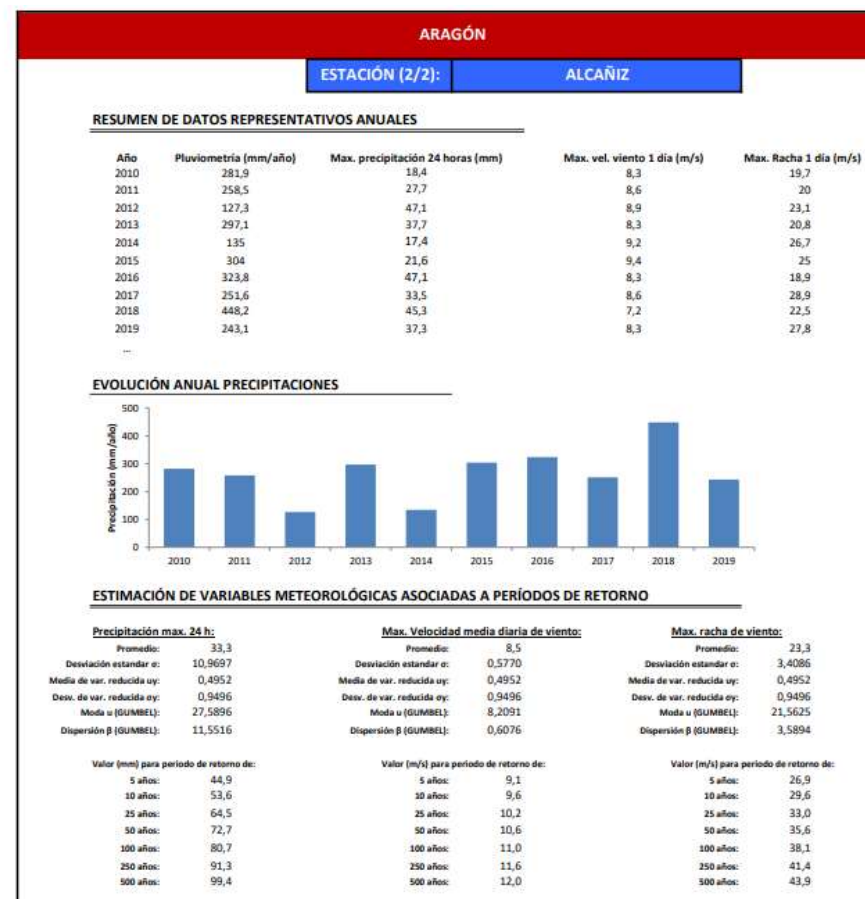
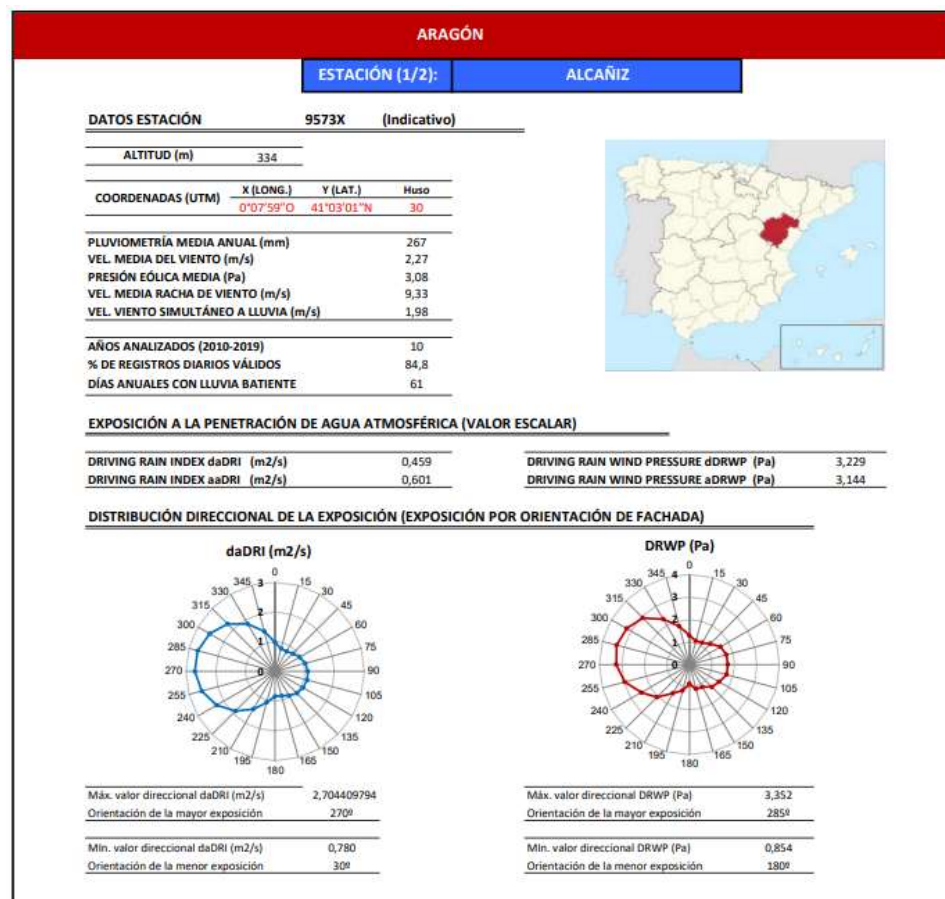


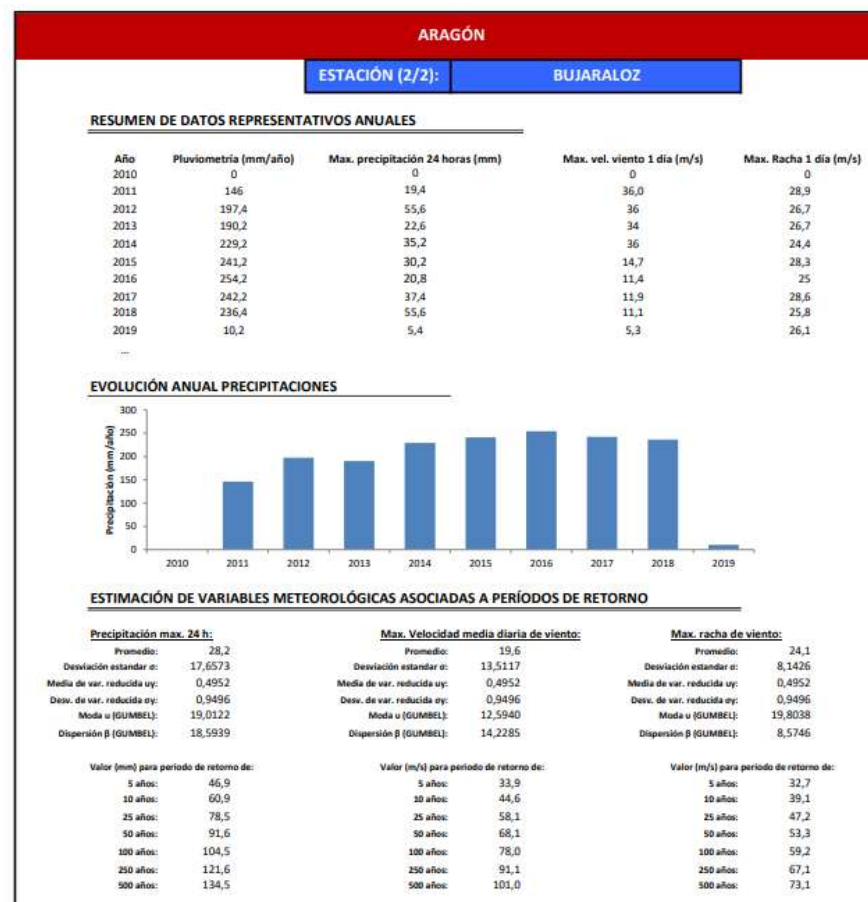
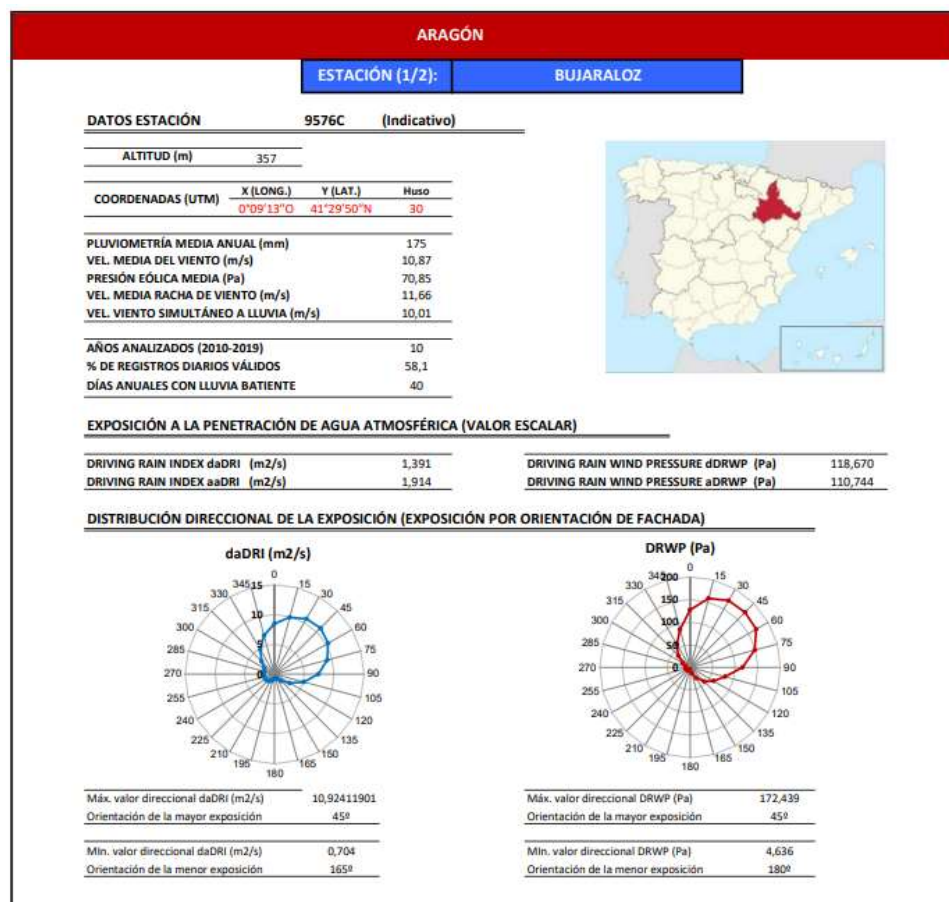




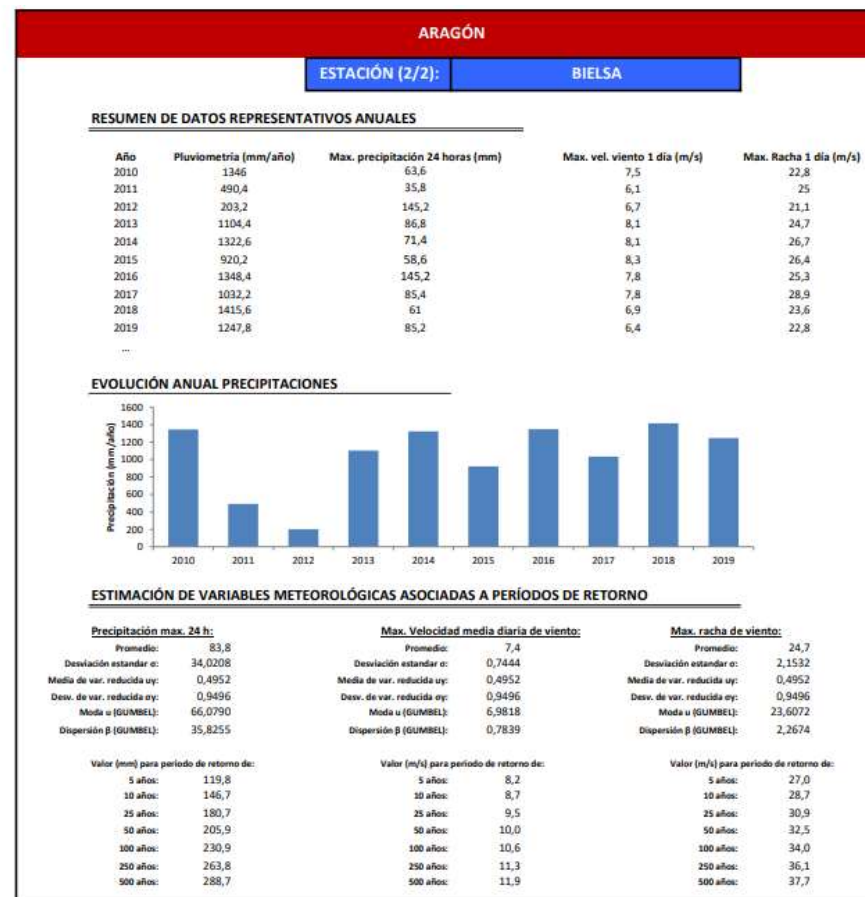
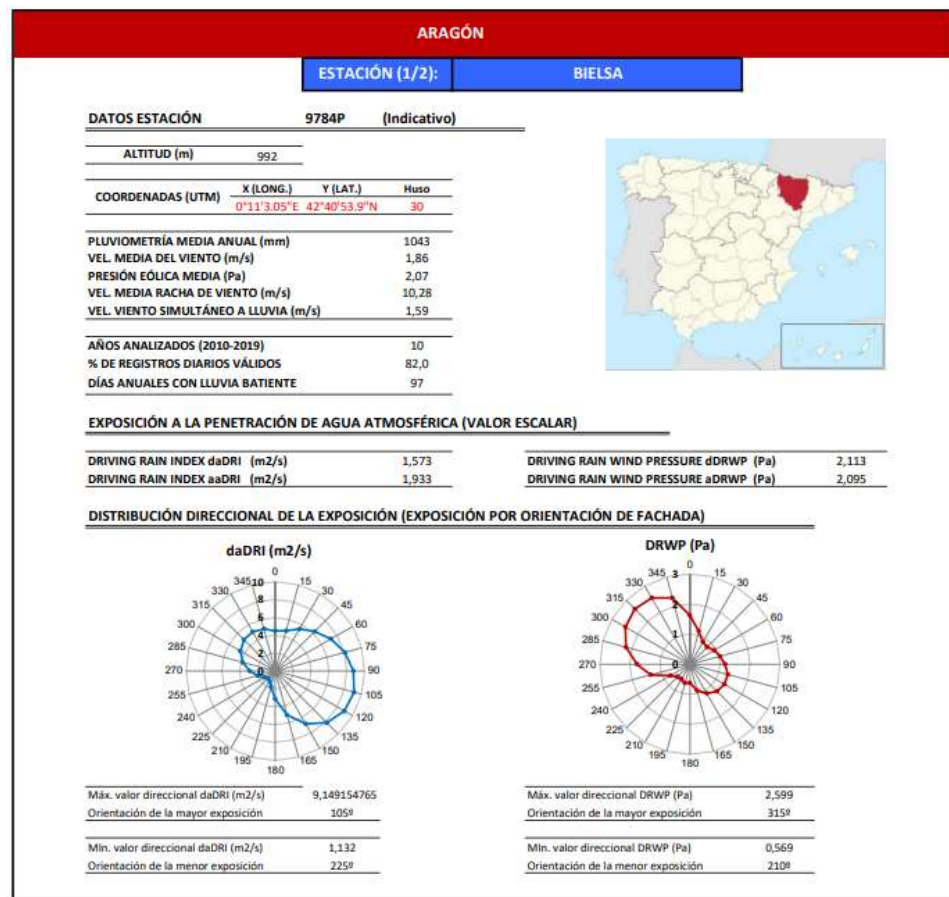




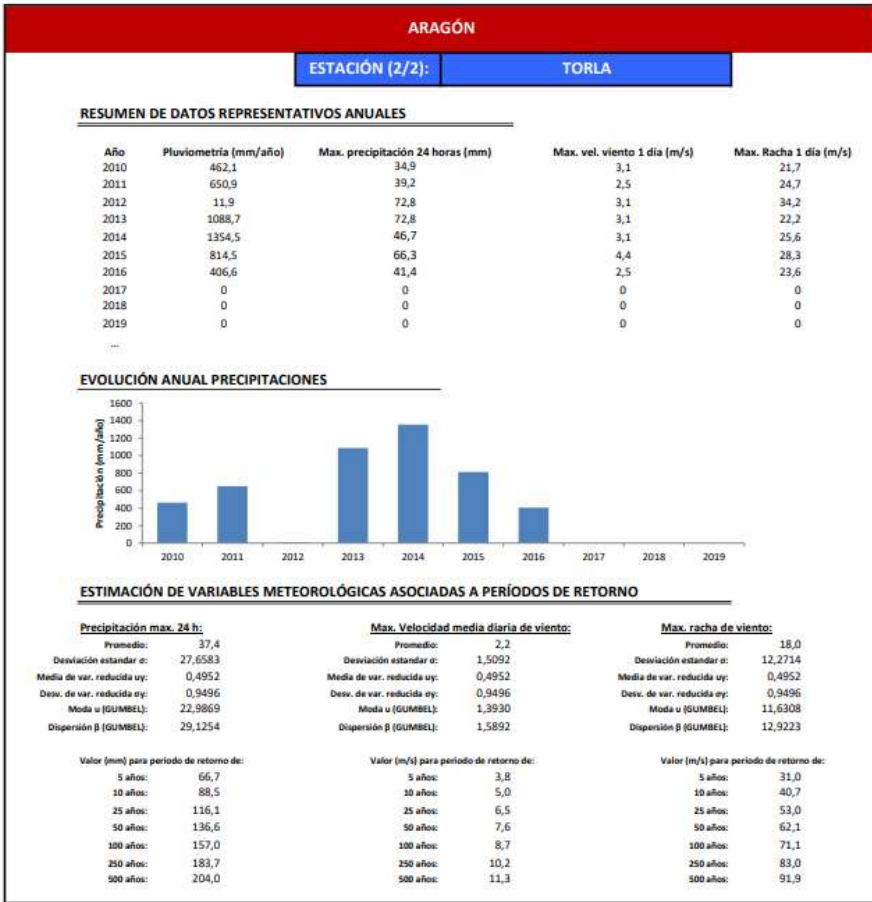
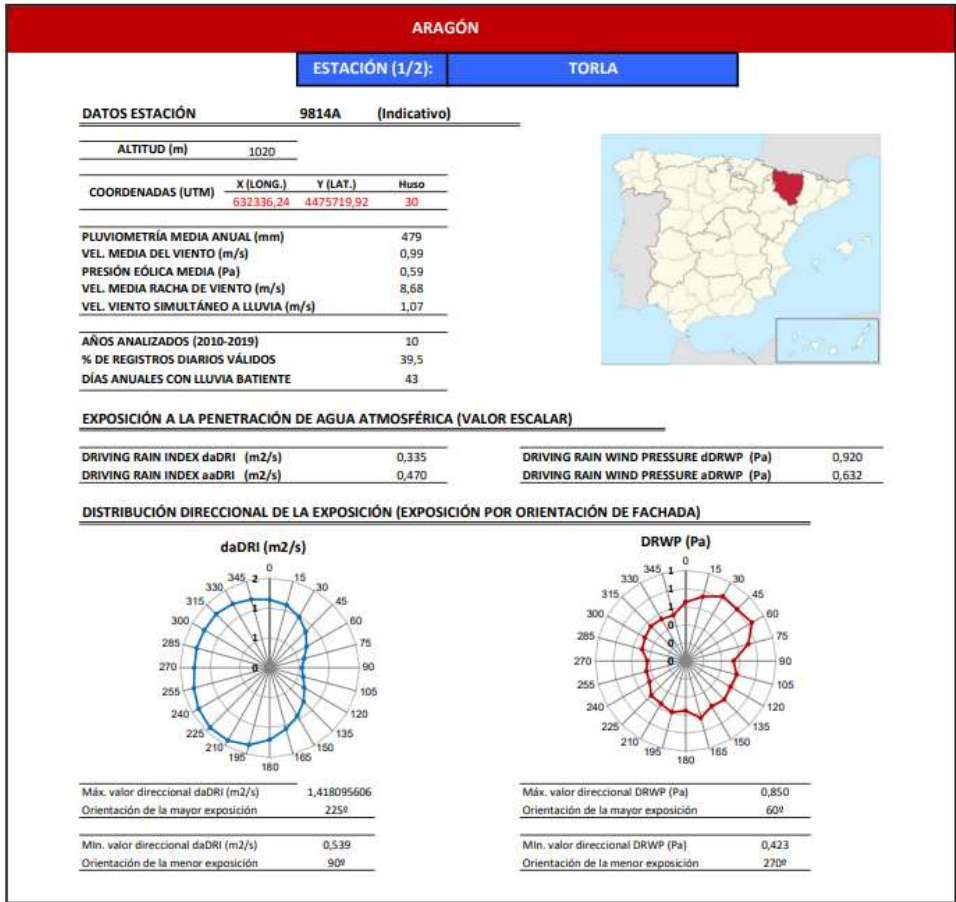


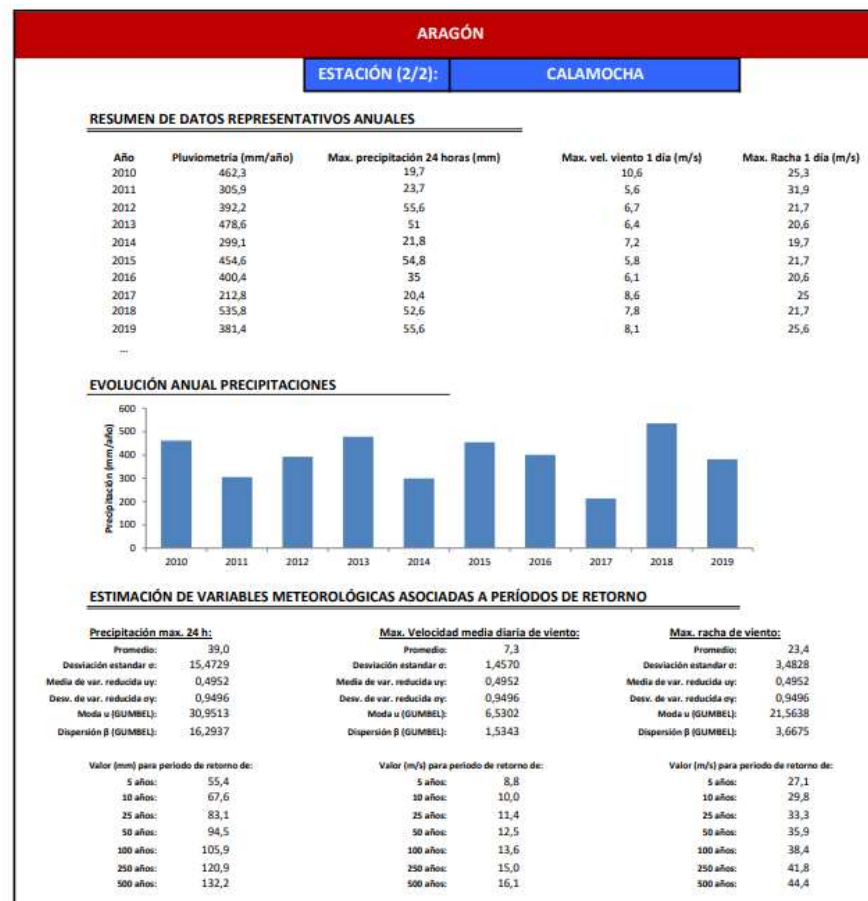
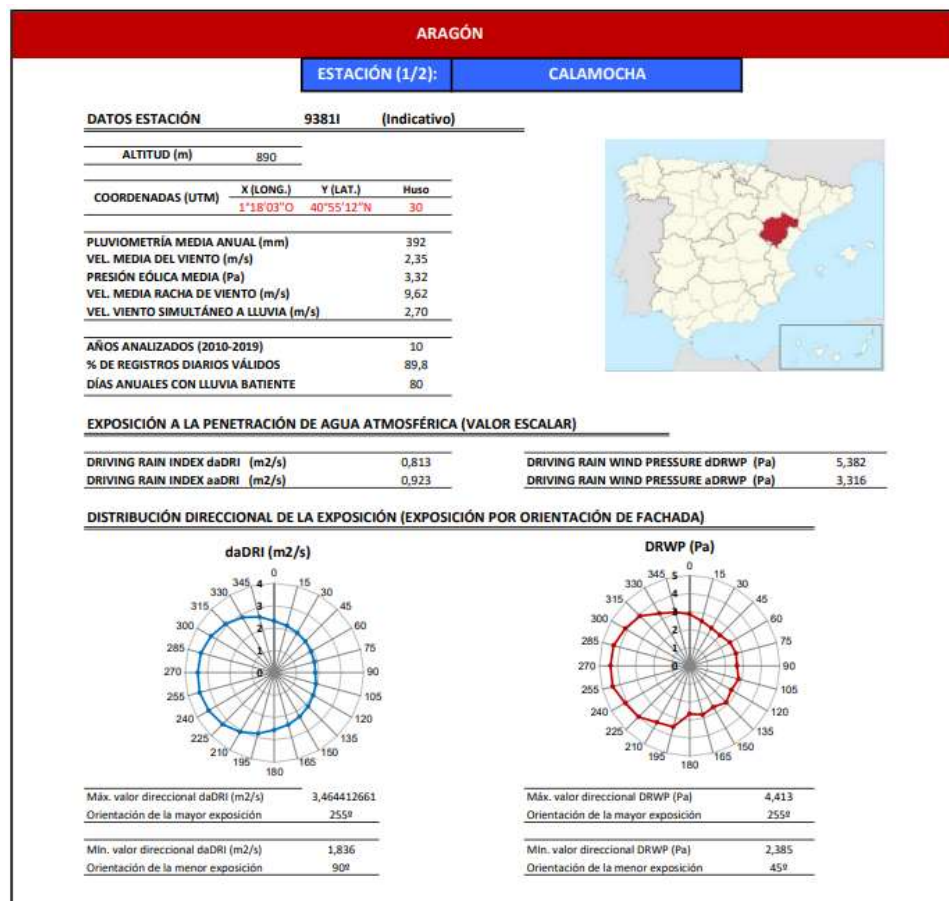


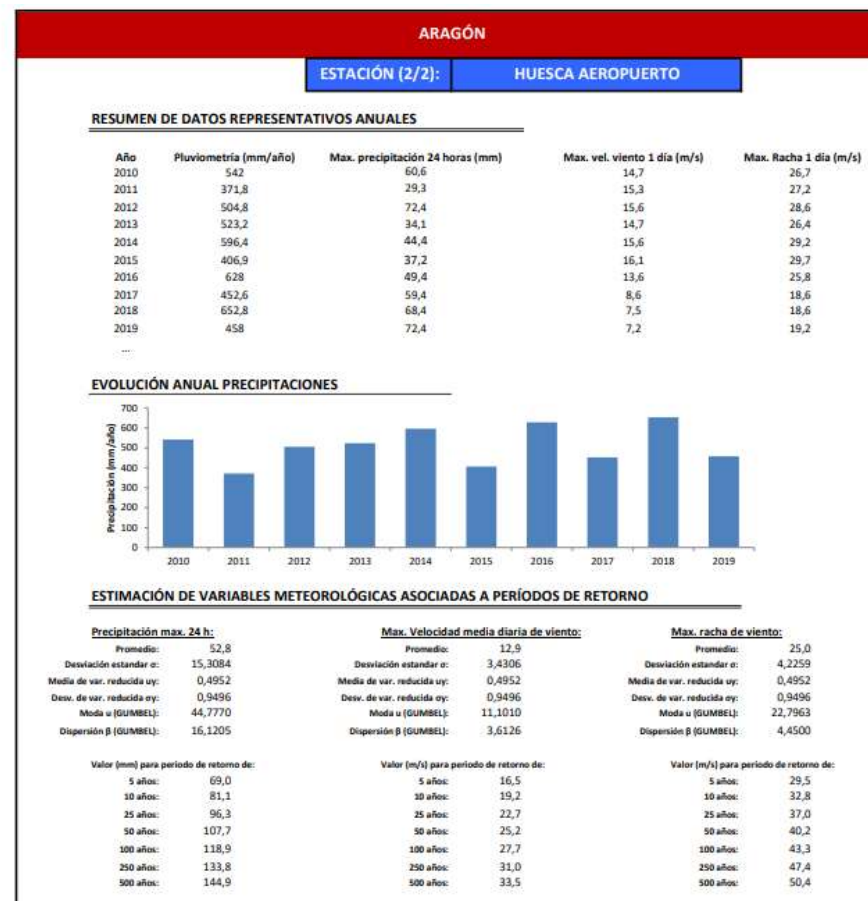
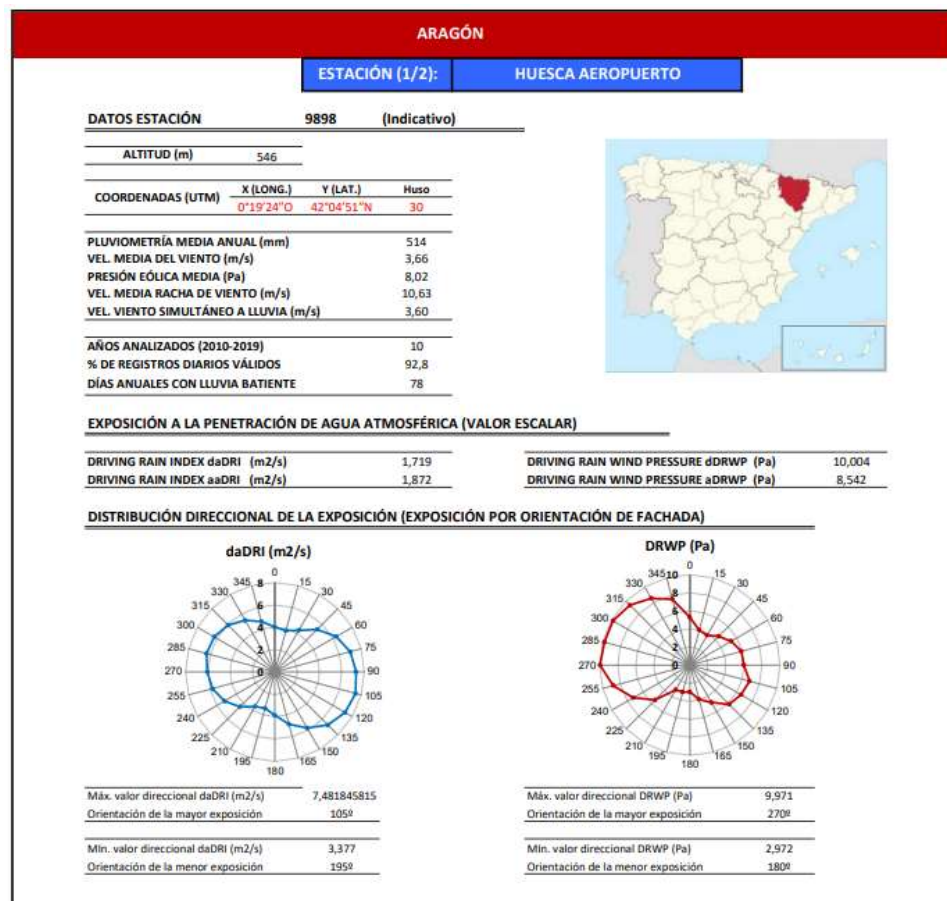












### 8.3 Tabla de resultados

Indicativo	Nombre de la estación	Provincia	Altitud (m.s.n.m.)	Coord. X	Coord. Y	aaDRI	daDRI	valor direccional máximo	orientacion máx daDRI	aDRWP	dDRWP	Orientacion máx Ddrwp	pluviometria media anual (mm)	daDRI normalizado	DRWP normalizado	RIWP
1014	HONDARRIBIA, MALKARROA	Guipúzcoa	16	1°47'29"O	43°21'45"N	4,873	5,81	41,34	255º	4,863	7,49	225º	1741	0,705086929	0,240108011	0,744848598
1082	Bilbao aeropuerto	Vizcaya	6	2°54'38"O	43°18'04"N	3,723	4,412	35,43	300º	5,514	8,619	285º	1226	0,525048294	0,280756076	0,595398761
1111	Santander	Cantabria	15	3°48'00"O	43°28'00"N	4,375	5,733	44,28	300º	11,747	18,893	300º	1070	0,695170637	0,650657066	0,952164289
1525	Navarredonda de gredos	Ávila	1523	5°08'01"O	40°21'45"N	0,798	1,173	6,05	120º	1,54	3,083	165º	485	0,107920155	0,081440144	0,135200802
1549	Ponferrada	León	512	6°35'27"O	42°32'46"N	1,127	1,038	7,09	270º	1,811	2,513	285º	648	0,090534449	0,060918092	0,109121494
2030	Soria	Soria	1063	2°28'07" O	41°45'50" N	1,534	1,509	8,56	255º	4,983	7,309	285º	534	0,151191243	0,233591359	0,278251172
2331	Aeropuerto Burgos	Burgos	904	3°36'49"O	42°21'27"N	2,341	2,572	17,59	210º	11,77	18,01	210º	527	0,288087572	0,618865887	0,682634188
2422	Valladolid	Valladolid	698	4°43'25.39"O	41°39'18.65"N	0,897	0,923	6,23	255º	2,764	4,824	285º	416	0,075724404	0,144122412	0,16280496
2444	Ávila	Ávila	1132	4°41'46"O	40°39'16"N	1,131	1,127	4,84	225º	5,505	8,379	315º	375	0,101996137	0,272115212	0,29060265
2465	Segovia	Segovia	1005	4°7'6.2"O	40°56'53.09"N	1,341	1,532	10,883	240º	5,491	11,255	255º	443	0,154153252	0,375661566	0,40606014
2539	Valladolid aeropuerto	Valladolid	846	4°51'07"O	41°42'22"N	1,163	1,88	12,73	240º	8,941	17,998	255º	419	0,198969736	0,618433843	0,649653273
2614	Zamora	Zamora	652	5°44'40.42"O	41°30'22.79"N	0,814	0,848	5,23	240º	2,562	3,685	225º	391	0,066065679	0,103114311	0,122463199
2661	Virgen del Camino	León	920	5°38'24"O	42°34'52"N	1,345	1,509	7,064	225º	6,882	11,34	255º	490	0,151191243	0,378721872	0,407785542
2867	Salamanca aeropuerto	Salamanca	791	5°30'07"O	40°57'07"N	1,136	1,592	12,56	240º	6,575	18,609	255º	337	0,161880232	0,640432043	0,660574304
2870	Salamanca	Salamanca	802	5°39'50" O	40°58'7.8" N	0,712	0,91	7,06	210º	2,335	5,126	225º	360	0,074050225	0,1549955	0,171776136
3391	Sotillo de la adrada	Ávila	635	4°34'59"O	40°16'59"N	0,708	0,663	4,21	240º	1,692	2,547	75º	424	0,042240824	0,062142214	0,075139484
9111	Belorado	Burgos	772	3°11'25"O	42°25'14"N	1,119	0,968	5,72	240º	3,426	4,866	225º	465	0,081519639	0,145634563	0,166897806
9170	Logroño aeropuerto	La Rioja	352	2°19'13"O	42°27'37"N	1,126	1,054	6,82	270º	4,435	7,089	105º	413	0,092594977	0,225670567	0,243928339

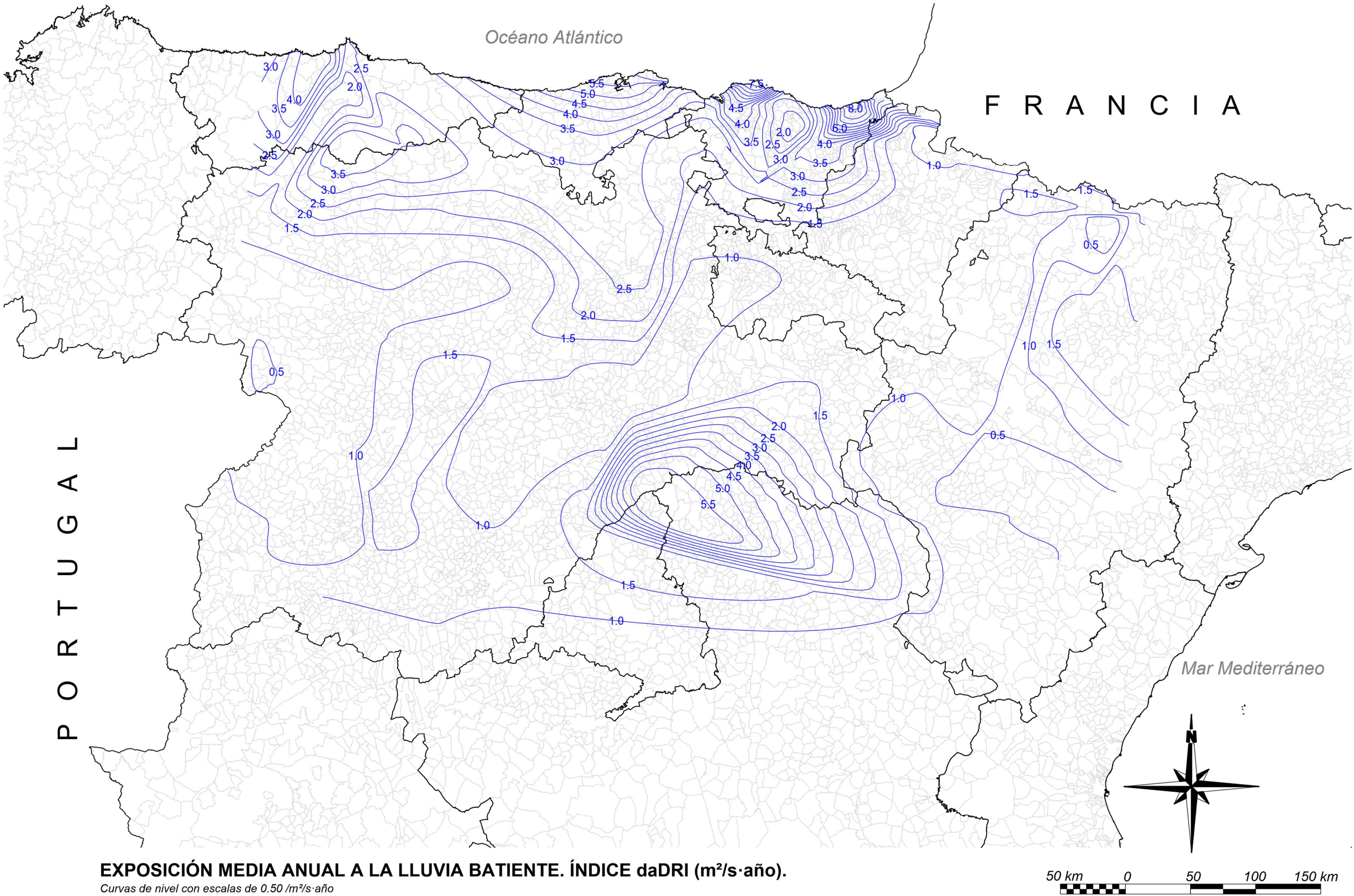
9390	Daroca	Zaragoza	1040	1°25'01"O	41°06'47"N	0,604	0,493	3,07	255º	1,434	2,537	255º	395	0,020347714	0,061782178	0,065046653
9434	Zaragoza Aeropuerto	Zaragoza	263	1°02'30"O	41°39'58"N	1,527	1,233	6,804	300º	13,091	11,844	270º	328	0,115647135	0,396867687	0,413374189
9898	Huesca aeropuerto	Huesca	539	0°19'24"O	42°04'51"N	1,827	1,719	7,48	105º	8,542	10,004	270º	514	0,178235673	0,330621062	0,375603836
1002Y	Bazatan, Irurita, Navarra	Navarra	241	1°32'49"O	43°07'52"N	1,135	1,002	5,304	330º	0,477	0,821	195º	1307	0,085898261	0	0,085898261
1014A	San Sebastián, aeropuerto	Guipúzcoa	5	1°47'26"O	43°21'23"N	4,236	5,71	39,05	255º	4,72	7,517	240º	1551	0,692208628	0,241080108	0,732988679
1024E	San Sebastián	Guipúzcoa	6	1°59'O	43°19'N	6,17	8,1	54,65	315º	9,848	16,77	165º	1660	1	0,574221422	1,153139298
1037Y	Zumarraga	Guipúzcoa	357	2°19'00"O	43°04'59"N	2,501	3,725	32,18	285º	1,77	3,545	285º	1483	0,436574372	0,098073807	0,447454639
1041A	Zumaia	Guipúzcoa	15	2°15'00"O	43°17'00"N	3,674	3,962	30,87	315º	7,116	11,99	315º	1070	0,467095943	0,402124212	0,61634609
1050J	Elgobiar	Guipúzcoa	51	2°25'01"O	43°12'51"N	1,977	1,833	11,23	255º	1,19	1,699	225º	1400	0,192916935	0,031611161	0,195489665
1055B	Lekeitio	Vizcaya	9	2°30'18"O	43°21'50"N	2,098	2,495	20,94	315º	9,166	18,128	315º	538	0,278171281	0,623114311	0,682386039
1057B	Machichaco	Vizcaya	122	2°45'09"O	43°27'15"N	5,579	7,92	69,49	270º	12,833	28,596	285º	1200	0,97681906	1	1,397918265
1059X	Punta galea	Vizcaya	8	3°02'00"O	43°22'24"N	2,679	3,679	29,09	300º	4,586	7,031	300º	1075	0,430650354	0,223582358	0,485230665
1078I	Güeñes	Vizcaya	78	3°05'39"O	43°12'50"N	1,562	2,374	17,6	285º	1,415	3,275	255º	1024	0,262588538	0,088352835	0,277054081
1210X	Cabo peñas	Asturias	100	5°50'51.18"O	43°38'51.86"N	2,387	2,496	16,03	285º	9,043	12,487	285º	616	0,278300064	0,420018002	0,503851216
1212E	Asturias aeropuerto	Asturias	127	6°02'05"O	43°33'49"N	3,709	4,227	34,96	285º	6,322	9,708	285º	1139	0,501223439	0,319963996	0,594644343
1221D	Pajares- Valgrande	Asturias/León	1378	5°47'04"O	43°02'22"N	3,693	3,874	25	180º	4,841	8,272	165º	1302	0,455763039	0,268262826	0,528852429
1249I	Oviedo	Asturias	232	5°51'01"O	43°21'45"N	2,213	1,826	9,25	300º	2,982	3,912	285º	1112	0,192015454	0,111287129	0,221934133
1283U	Cabo busto	Asturias	80	6°28'11"O	43°34'09"N	2,442	2,592	20,61	285º	12,146	21,621	270º	540	0,290663232	0,748874887	0,803304869
2053X	Olmedo	Valladolid	740	4°41'12"O	41°17'14"N	0,529	0,663	5,07	225º	2,25	4,921	240º	271	0,042240824	0,147614761	0,153539588
2117D	Aranda de Duero	Burgos	804	3°41'21.12"O	41°40'13.48"N	0,691	0,742	5,34	240º	2,78	5,31	225º	319	0,052414681	0,161620162	0,169906962
2150H	La pinilla	Segovia	1500	3°28'20"O	41°12'12"N	4,241	5,842	38,32	195º	9,469	17,407	180º	1059	0,709207985	0,597155716	0,927130473
2235U	Cervera de pisuerga	Palencia	1005	4°29'50"O	42°51'49"N	2,214	2,616	20,22	210º	4,612	7,707	225º	795	0,293754024	0,247920792	0,384390616
2374X	Carrion de los condes	Palencia	830	4°36'07"O	42°20'20"N	0,824	1,002	6,93	210º	2,593	5,129	225º	394	0,085898261	0,15510351	0,177300903
2400E	Autilla del pino	Palencia	860	4°37'59"O	41°58'59"N	1,312	1,387	9,41	225º	10,917	20,163	225º	308	0,135479717	0,696381638	0,709437904



2630X	Puerto de San Isidro	Asturias/León	1520	5°23'11"O	43°03'55"N	3,557	3,496	22,37	270º	9,09	14,424	285º	909	0,407083065	0,489756976	0,636850467
2737E	Lagunas de Somoza	León	1030	6°11'32"O	42°22'53"N	0,986	0,95	4,55	210º	4,341	6,952	285º	367	0,079201545	0,220738074	0,234516912
2755X	Benavente	Zamora	727	5°40'32"O	42°00'18"N	0,818	0,897	6,13	225º	3,263	5,577	225º	350	0,072376046	0,171233123	0,185900712
2775X	Villadecervos	Zamora	1110	6°16'59"O	41°55'59"N	1,79	0,525	21,16	210º	3,893	8,784	225º	701	0,02446877	0,28669667	0,287738946
2916A	Vitigudino	Salamanca	769	6°26'02"O	40°59'42"N	1,974	2,256	17,91	240º	8,658	14,892	255º	516	0,247392144	0,506606661	0,563784694
2946X	Saelices el chico	Salamanca	651	6°38'03"O	40°40'06"N	1,068	1,139	7,2	210º	5,223	7,126	255º	364	0,103541533	0,2270027	0,249501653
8368U	Teruel	Teruel	915	1°06'26"O	40°20'37"N	0,73	0,559	2,26	90º	2,476	3,556	225º	361	0,028847392	0,098469847	0,102608395
9001D	Reinosa	Cantabria	855	4°08'16"O	43°00'07"N	2,39	2,993	13,3	300º	5,77	11,686	195º	742	0,342305216	0,391179118	0,51980185
9091O	Foronda	Álava	564	2°43'22"O	42°53'54"N	2,492	2,728	17,74	285º	6,277	9,34	225º	763	0,308177721	0,306714671	0,434795811
9091R	Vitoria aeropuerto	Álava	513	2°43'28"O	42°52'58"N	2,015	2,256	14,62	285º	6,296	9,781	225º	611	0,247392144	0,322592259	0,406532457
9201K	Jaca	Huesca	820	0°33'O	42°33'N	1,129	0,974	4,84	330º	2,428	3,032	300º	609	0,082292337	0,07960396	0,114493752
9208E	Argüés del puerto	Huesca	970	0°40'11"O	42°42'25"N	1,947	1,517	6,07	195º	3,217	3,525	30º	862	0,152221507	0,097353735	0,180690722
9236X	Aranguren, ilundain	Navarra	442	1°31'47"O	42°46'32"N	1,153	1,242	5,76	315º	1,956	3,369	165º	663	0,116806182	0,091737174	0,148524049
9244X	Sos del rey católico	Zaragoza	652	1°12'56"O	42°29'50"N	1,179	1,046	5,78	180º	4,132	5,275	165º	454	0,091564713	0,160360036	0,184660331
9294E	Bardenas reales	Navarra	400	1°28'12"O	42°11'27"N	1,598	1,439	6,39	285º	15,316	18,29	315º	322	0,142176433	0,628946895	0,644816512
9831I	Calamocha	Teruel	884	1°18'03"O	40°55'12"N	0,923	0,813	3,46	255º	3,316	5,382	255º	392	0,061558274	0,164212421	0,175371436
9394X	Calatayud	Zaragoza	536	1°38'00"O	41°21'00"N	0,765	0,676	2,99	255º	4,83	6,81	270º	270	0,043915003	0,215625563	0,220052064
9434P	Zaragoza Valdespartera	Zaragoza	267	0°52'38.42"O	41°39'21.82"N	0,903	0,695	4,47	300º	8,638	8,394	315º	239	0,04636188	0,272655266	0,27656883
9573X	Alcañiz	Teruel	343	0°07'59"O	41°03'01"N	0,601	0,459	2,7	270º	3,144	3,229	285º	267	0,015969092	0,08669667	0,088155116
9576C	Bujaraloz	Zaragoza	327	0°09'13"O	41°29'50"N	2,316	1,504	10,92	45º	110,74	118,67	45º	175			0
9784P	Bielsa	Huesca	1053	0°11'3.05"E	42°40'53.9"N	1,933	1,573	9,15	105º	2,095	2,113	315º	1043	0,159433355	0,046516652	0,166080684
9814a	Torla	Huesca	1032	0°06'44"O	42°37'40"N	0,47	0,335	1,42	225º	0,632	0,92	60º	479	0	0,003564356	0,003564356

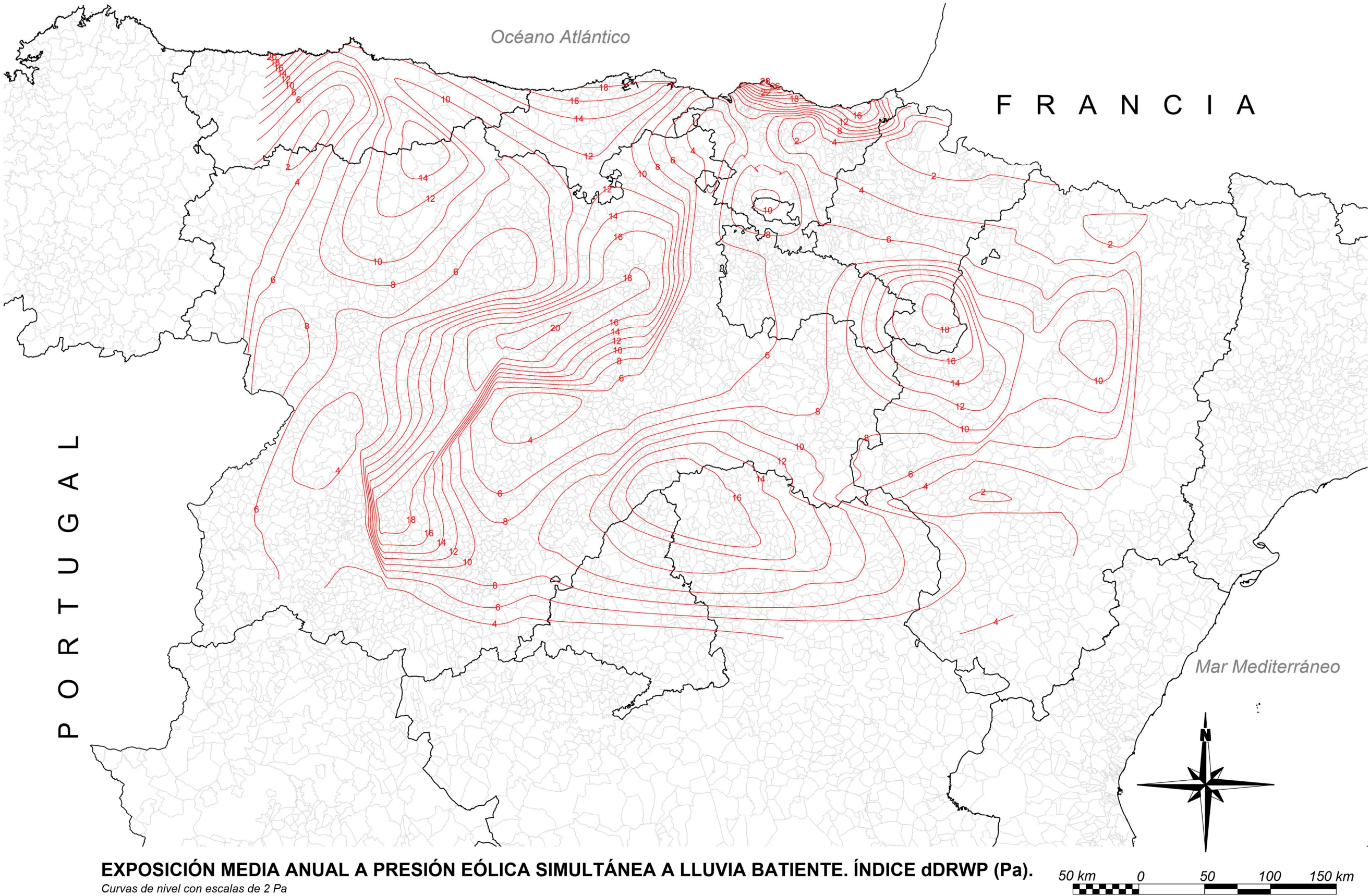
Tabla 5 Resultados

8.4 Mapa del índice daDRI



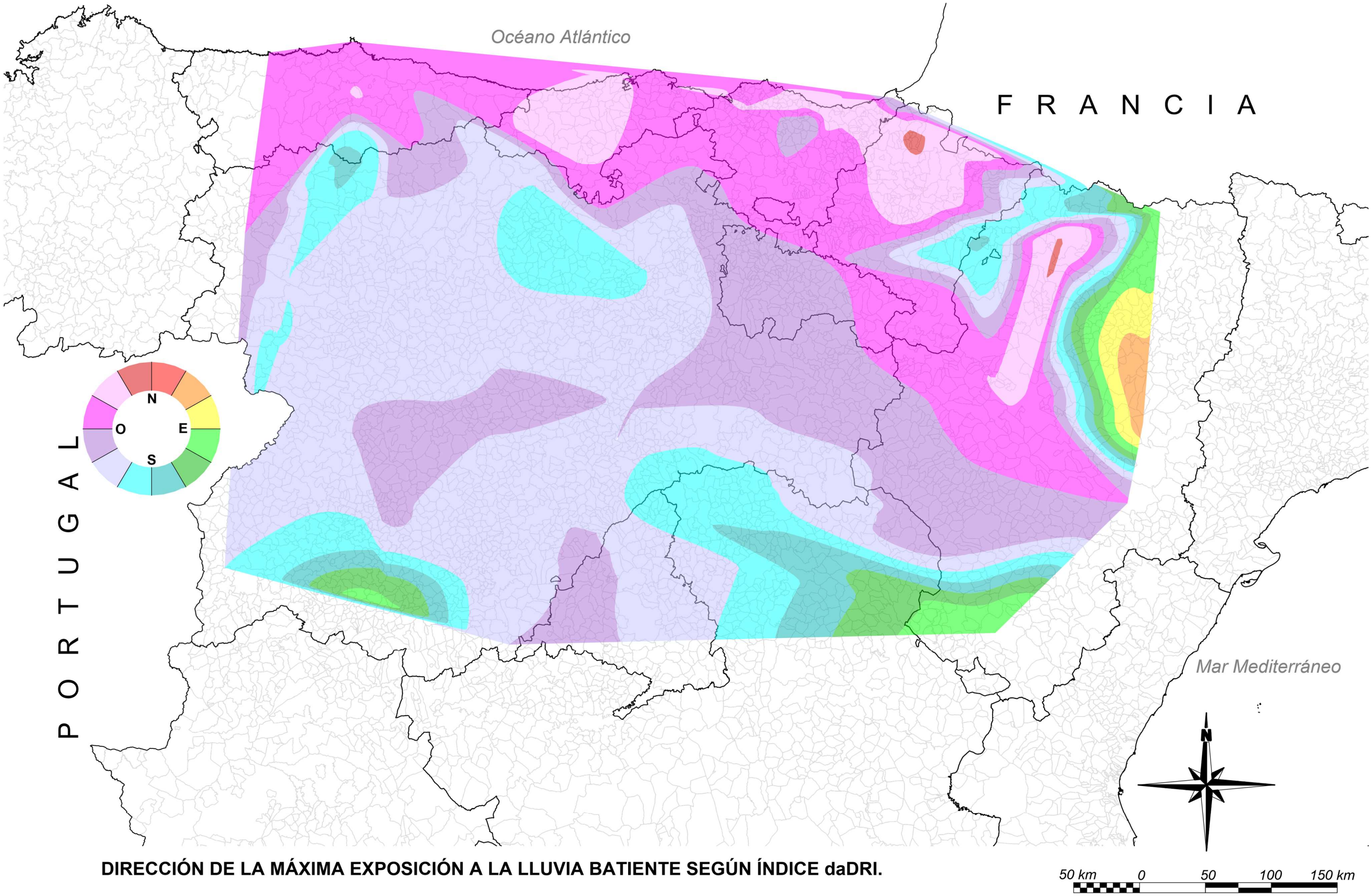


8.5 Mapa del índice DRWPI



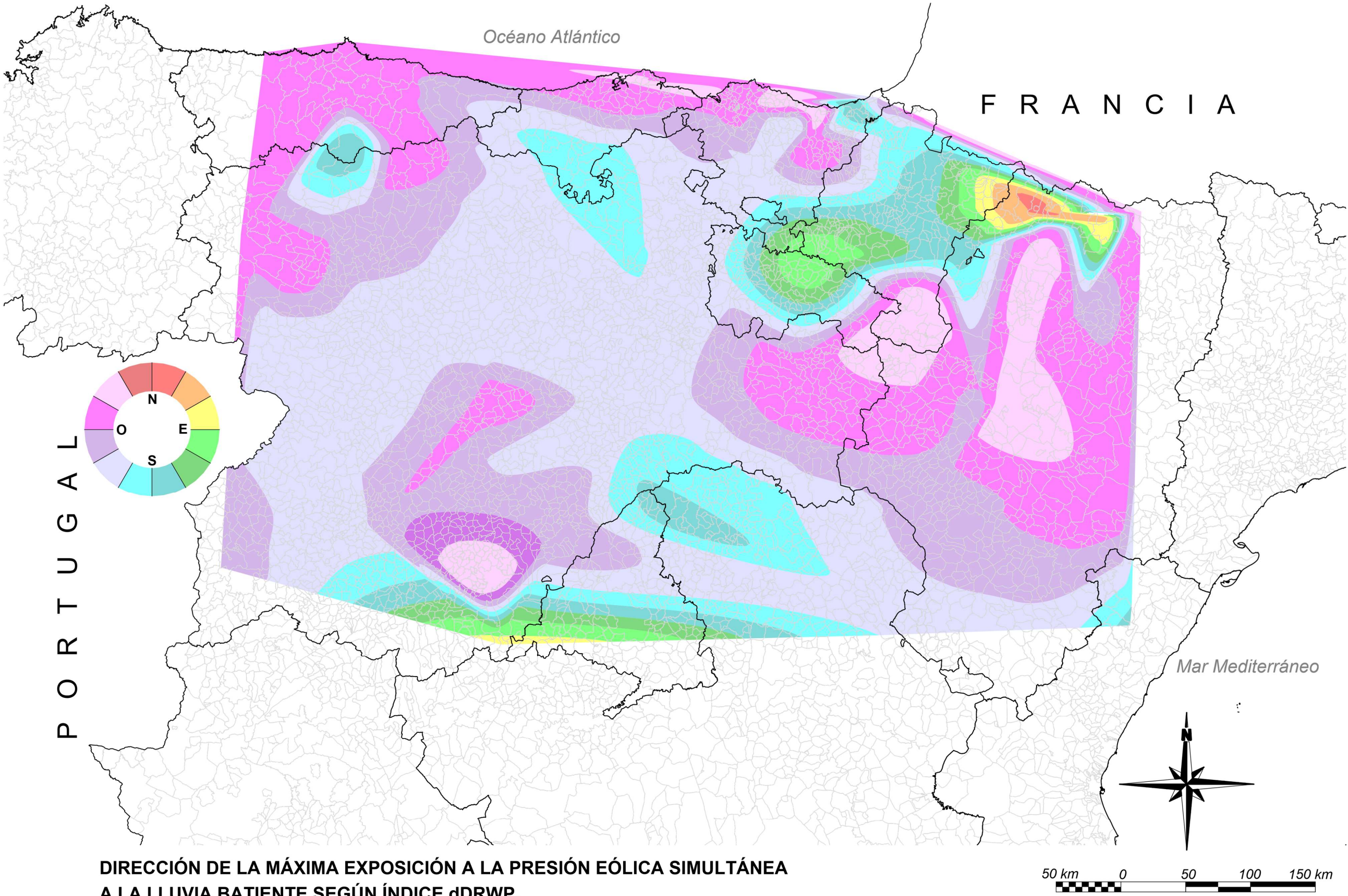


8.6 Mapa de la orientación máxima del índice daDRI





8.7 Mapa de la orientación máxima del índice DRWPI





## 8.8 Formulación de la distribución de Gumbel

Dada una serie histórica de datos máximos correspondientes a la variable aleatoria  $\psi$ , la probabilidad  $F(x)$ , de que dicha variable sea inferior a un valor determinado  $x$ , puede determinarse según la expresión siguiente, siendo  $\alpha$  y  $u$ , valores de ajuste característicos de la propia distribución y de la muestra de datos utilizada:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad [12]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sigma_g}{\sigma} \quad [13]$$

En este caso,  $\sigma$  es la desviación típica de la serie de datos, dependiente por lo tanto de la muestra de datos utilizada:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - \psi_i)^2}{N}} \quad [14]$$

$\sigma_g$  es una variable dependiente de la propia distribución, determinada en función del número de datos que integran la muestra,  $N$ . Su cálculo exacto, se obtiene como la desviación típica de  $N$  valores  $y_i$ , con  $i = 1 \dots N$ , calculados del siguiente modo:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum(\bar{y} - y_i)^2}{N}} \quad [15]$$

$$y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i})) \quad [16]$$

$N$  corresponde al número de datos que integran la muestra

$\bar{x}$  es el promedio del valor de la serie de datos que integran la muestra analizada.

$$\bar{x} = \frac{\sum \psi_i}{N} \quad [17]$$

Además:

$$u = \bar{x} - u_g \frac{\sigma}{\sigma_g} = \bar{x} - u_g \frac{1}{\alpha} \quad [18]$$

Donde  $u_g$  es la media de la variable reducida:

$$u_g = \frac{\sum_{i=1}^N -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))}{N} \quad [19]$$

Para el caso concreto de la determinación de periodos de retorno de valores máximos de la variable, los  $N$  datos utilizados en la serie, corresponden a los máximos anuales detectados para la variable analizada  $\psi$  y lo que se pretende es determinar la probabilidad  $P(x)$  de que la variable  $\psi$  no supere un determinado valor fijado  $x$ :

$$P(x) = 1 - F(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad [20]$$

Si la serie histórica de datos máximos se elabora de forma anual, la probabilidad  $TR(x)$ , de que un valor de magnitud igual o superior a “ $x$ ” se repita en un determinado periodo de años,

puede expresarse como la inversa de la probabilidad de que dicho valor sea superado anualmente:

$$TR(x) = \frac{1}{P(x)} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}} = N^{\circ} \text{ de años de ocurrencia [21]}$$

Así por ejemplo, las probabilidades de ocurrencia de un fenómeno mayor que el indicado, serán, para un periodo de retorno ejemplo de 10 años:

$$TR_{10 \text{ años}}(x) = 10 = \frac{1}{0.1} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}} \quad [22]$$

Las anteriores expresiones pueden utilizarse de forma bidireccional: Determinando el periodo de retorno  $TR(x)$  que se pretende analizar y resolviendo la variable “x” que caracteriza a dicho periodo de retorno; o resolviendo el número de años TR, asociado a la probabilidad de ocurrencia de un determinado valor “x” en la variable. Despejando de la ecuación anterior dicha variable “x”, se obtiene:

$$x = \frac{-\ln(\ln(1 - \frac{1}{TR(x)}))}{\alpha + u} \quad [23]$$

Operando con las variables de este desarrollo matemático ( $\beta=1/\alpha$ ) se obtienen las siguientes expresiones:

$$\frac{1}{TR(años)} = 1 - e^{-e^{-(x-u)/\beta}} \quad [24]$$

$$x = u - \beta \ln(\ln(1 - \frac{1}{TR(años)})) \quad [25]$$

$\beta$  es la dispersión en la distribución:

$$\beta = \frac{\sigma}{\sigma_g} \quad [26]$$