



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Riesgos climáticos en Zaragoza: El viento Cierzo

Climate hazards in Zaragoza: The Cierzo wind

Autor/es

David Serrano Rodríguez

Director/es

Dr. José María Cuadrat Prats

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras

2017/2018

AGRADECIMIENTOS

En especial al Doctor José María Cuadrat por su dedicación y ayuda.

A la técnico del ayuntamiento Dña Amalia Barnola por su interés y colaboración.

Familia, amigos y demás personas que me han acompañado a lo largo de esta etapa.

ÍNDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 <i>Geografía de los riesgos</i>	4
1.2 <i>Concepto de riesgo</i>	4
1.3 <i>Riesgo natural</i>	7
1.4 <i>Clasificación de los riesgos</i>	7
1.5 <i>El viento como riesgo climático</i>	10
2. OBJETIVOS	13
3. FUENTES	14
3.1 <i>Base de datos climática</i>	14
3.2 <i>Base de datos del Cuerpo de Bomberos</i>	14
3.3 <i>Artículos de prensa</i>	15
3.4 <i>Parques y jardines</i>	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 <i>Análisis de cierzo</i>	16
4.2 <i>Relación estadística temporal</i>	16
4.3 <i>Cartografía de zonas más vulnerables en Zaragoza</i>	17
5. EL VIENTO COMO RIESGO CLIMATICO EN ZARAGOZA	18
5.1 <i>Interconexión con otros riesgos. Riesgos asociados</i>	21
6. RESULTADOS	23
6.1 <i>Identificación temporal del Cierzo en Zaragoza</i>	23
6.2 <i>Zonas de riesgo por el viento en la ciudad de Zaragoza</i>	28
6.2.1 <i>Avenidas canalizadoras de Cierzo</i>	28
6.2.2 <i>Zonas con riesgo por cierzo</i>	32
6.3 <i>Acción del viento sobre zonas arboladas</i>	36
6.3.1 <i>Estática de los árboles</i>	36
6.3.2 <i>Factores y vulnerabilidad que actúan sobre la estabilidad de los árboles cuando hay cierzo o tormentas en Zaragoza</i> ..	37
6.3.3 <i>Problemática del Pino Carrasco (Pinus halepensis)</i>	39
6.3.4 <i>Vulnerabilidad por especies</i>	41
6.3.5 <i>Clasificación zonas verdes urbanas en Zaragoza</i>	42
6.4 <i>Edificios</i>	45
6.5 <i>Sucesos en la periferia de Zaragoza</i>	47
6.6 <i>Relación de siniestros ocurridos con las zonas de riesgo por Cierzo en Zaragoza</i>	48
7. CONCLUSIÓN	49
8. BIBLIOGRAFIA	51

RESUMEN

El viento cierzo es un fenómeno meteorológico característico de la ciudad de Zaragoza, que aparece con cierta frecuencia y puede llegar a alcanzar rachas máximas de viento de hasta 100 km/h durante dos o tres días consecutivos. Este viento puede ocasionar daños significativos en las zonas urbanas de la ciudad, donde se puede estudiar la vulnerabilidad y su adaptación a este tipo de riesgo. Por ello en el presente trabajo, se evalúa el riesgo climático que tiene el viento en las diferentes zonas de la ciudad de Zaragoza. De este modo se ha realizado un análisis temporal, para estudiar en que momentos del año es más frecuente que aparezca este riesgo climático y una identificación de las zonas más vulnerables de la ciudad.

Finalmente se analizan las consecuencias que provoca el cierzo en Zaragoza para la ciudad y sus habitantes, en los barrios, avenidas, edificios y con un estudio especial sobre las consecuencias y peligro en el arbolado de la ciudad. Los resultados obtenidos demuestran que el cierzo es un factor importante de riesgo para la ciudad y que este trabajo puede ser el principio de un estudio más complejo sobre este riesgo, que haga cambiar cosas en el entramado urbano de la ciudad.

Palabras clave: Riesgo climático, viento cierzo, consecuencias, zonas urbanas, avenidas, árboles, peligro.

ABSTRACT

The cierzo wind is a characteristic climatic event in Zaragoza city, that this appear with frequency and he may be to reach wind gust up to 100 km/h during two or three consecutive days. This wind may cause damage in urban áreas in the city, when it can studied the vulnerability and the adaptation to this hazard. Therefore, the present work evaluates the climate hazard that the wind have in the different áreas to city. Thus, a temporal analysis was performed to study that moments is most frequent that he appear and most vulnerability areas in the city.

Finally, the effects caused for the cierzo to city and inhabitants in Zaragaza it analyse in the districts, streets, buildings and a study special about the effects and danger in the urban woodland. The results obtained in this work proves that the cierzo is a important aspect to hazard for the city and this work can be the beginning of future studies most complex about this hazard, that it change things in the urban area in the city.

Key words: Climate hazards, cierzo wind, effects, urban areas, streets, urban woodland, danger.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Geografía de los riesgos*

La investigación sobre los riesgos que el medio natural tiene para el hombre comenzó a desarrollarse en el ámbito geográfico anglosajón a mediados del Siglo XX. El objetivo principal de estas investigaciones así como los trabajos realizados posteriormente en el tema tienen un contenido técnico-práctico, menos importancia se le da al papel que tienen estos acontecimientos respecto a las estructuras económicas y sociales de los grupos afectados, aspecto que algún historiador sí que lo trabajó (Kula, 1963).

La constatación de que el medio ambiente que nos rodea carece de la domesticidad que nuestra familiaridad con él impulsa, inconscientemente a atribuirle (Hagget, 1975) y que la inestabilidad es uno de sus rasgos más importantes, permite contemplar a las sociedades humanas compitiendo al ocupar la tierra con la incertidumbre de la naturaleza (Calvo, 1984).

El ser humano, como todos los seres vivos, está sometido en cierta medida al medio natural en el que habita. La naturaleza es la que proporciona los elementos necesarios para la existencia de las sociedades humanas, pero esta, también le proporciona al ser humano una serie de amenazas, dificultades e incluso peligros, contrarios al bienestar del hombre y de su supervivencia.

Los grupos humanos para acomodarse a un territorio tienen sus diferentes formas de adaptación, pero estas pueden mostrarse insuficientes ante un determinado acontecimiento o conjunto de ellos, de los que pueden derivarse efectos seriamente perjudiciales para el grupo humano. Esto hace que el estudio de los sistemas de adaptación del hombre y el medio sea importante para la geografía, pero análisis de los fenómenos excepcionales, capaces de romper este equilibrio, también. (Calvo, 1984).

1.2 *Concepto de riesgo*

El riesgo es definido por Calvo (1984) como el resultado de la combinación de tres conceptos complejos: peligro, vulnerabilidad y exposición.

- Un peligro

Es la frecuencia o probabilidad con la que se presenta un fenómeno de una intensidad concreta, considerando que el fenómeno supone una amenaza a la integridad total o parcial de los sistemas y

los elementos vulnerables. El peligro se puede expresar numéricamente como la frecuencia asociada a un fenómeno con una intensidad concreta. Los peligros pueden ser naturales, tecnológicos o sociales.

- La vulnerabilidad

Es la predisposición intrínseca de un elemento (persona, edificio, organización, sistema, ecosistema, municipio, etc.) a sufrir daños por motivo de un fenómeno de una intensidad concreta, es decir, ante un peligro concreto. Si se considera que el elemento puede sufrir daños, debe entenderse éste como elemento vulnerable o elemento especialmente vulnerable, en función de la respectivamente menor o mayor vulnerabilidad intrínseca.

Existen diferentes clases de vulnerabilidad:

Vulnerabilidad estructural: cuando sólo se considera la afectación a las estructuras, por ejemplo, en los terremotos.

Vulnerabilidad funcional: cuando se considera no solamente la estructura sino también la viabilidad del sistema. Por ejemplo, en un terremoto un hospital o una comisaria pueden resultar no afectados estructuralmente, pero pueden quedar no operativos (falta de luz, telecomunicaciones, etc.).

Vulnerabilidad orgánica: Cuando sólo se consideran las afectaciones en tanto que el número de muertos o heridos graves.

Vulnerabilidad social: cuando se consideran las afectaciones sociales (psicológicas) además de si hay muertos o heridos.

Un aspecto importante que cabe considerar en la vulnerabilidad es el que se denomina resiliencia. La resiliencia es la capacidad de recuperación o de regeneración de los sistemas o elementos vulnerables para volver al estado inicial o inmediatamente anterior a la afectación por el fenómeno. Por ejemplo, hay ecosistemas que tienen una gran capacidad de regeneración y otros que si resultan afectados pueden desaparecer. Socialmente también se puede comprobar que hay sociedades con una gran capacidad de volver a la normalidad después de ser fuertemente afectadas por algún fenómeno peligroso y otras que tardan años.

- Exposición

Es la cuantificación de la ubicación de un elemento o sistema en relación a un peligro concreto, de forma que lo hace vulnerable o susceptible de sufrir daños. La cuantificación se puede determinar también a través del número de elementos vulnerables de las diferentes tipologías expuestas al

fenómeno. Debe tenerse en cuenta que en determinadas situaciones la exposición es inferior a la duración de la intensidad porque hay capacidad de aplicar medidas de autoprotección, a pesar de que a menudo el elemento vulnerable quedará expuesto al peligro durante todo el periodo de afectación.

La definición esquemática anterior de riesgo se puede representar mediante una sencilla expresión matemática que recoge la combinación de los conceptos introducidos.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$

Observamos que el riesgo es más grande cuanto mayor sea el peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Cabe tener en cuenta, que por el hecho de considerar el riesgo como una combinación de tres conceptos con el mismo peso específico, se pueden dar situaciones en las que valores de riesgo relativamente pequeños pueden contener valores de vulnerabilidad o de peligro muy elevados, que estén compensados o minimizados por el resto de componentes de la expresión.

También se puede utilizar la expresión anterior de manera simplificada y considerar la vulnerabilidad y la exposición de forma conjunta y por otro lado expresar el peligro como probabilidad.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencias}$$

En la expresión anterior el parámetro consecuencias se considera como el producto de la vulnerabilidad intrínseca del elemento vulnerable y la exposición al peligro concreto. De esta forma, el concepto de consecuencias se puede asemejar a “daños esperados”. Además, el parámetro probabilidad recoge la frecuencia con la que un peligro concreto se puede producir, o sea, traduce el peligro como probabilidad. Así pues, la expresión anterior simplifica el riesgo en ideas de probabilidad y daños esperados.

1.3 Riesgo natural

Una definición sencilla de riesgo natural es considerarlo como “aquellos elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas a él” (Burton y Kates, 1964). Esta definición fue desechada por otros autores ya que en la naturaleza no hay voluntariedad, y es el nivel cultural y técnico que tienen los grupos humanos en un territorio, lo que hará que estos sean más o menos afectados por el fenómeno (Calvo, 1984).

El riesgo se trata de un problema de interacción entre el hombre y la naturaleza, una interacción variable y gobernada por el estado de adaptación respectivo entre el sistema humano de uso de la naturaleza y de esta en sí misma.

El riesgo natural es pues la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita puedan verse afectados por un acontecimiento extremo del medio que excede la capacidad de los procedimientos humanos para absorberlo o amortiguarlo (Calvo, 1984).

La catástrofe es el efecto perturbador que provoca sobre un territorio un episodio natural extraordinario y que a menudo supone la pérdida de vidas humanas, si las consecuencias de dicho episodio natural alcanzan una magnitud tal que ese territorio necesita ayuda externa en alto grado se habla de desastre, concepto que alude al deterioro que sufre la economía de una región y al drama social provocado por la pérdida de numerosas vidas (Calvo, 2001).

El contenido de la expresión “riesgo natural” es doble: por un lado abarca el esfuerzo continuo de para hacer el sistema humano menos vulnerable a los fenómenos naturales y por otro la necesidad de afrontar en concreto aquellos acontecimientos naturales que exceden la capacidad de absorción del sistema de uso de su medio elaborado por cada sociedad.

1.4 Clasificación de los riesgos

Los riesgos naturales en su conjunto pueden clasificarse desde distintos puntos de vista dependiendo de sus causas, efectos o características que presentan.

Una primera clasificación los distingue en dos tipos, que son los riesgos biológicos, cuyo origen se encuentra en la biosfera, en la flora o la fauna, y los riesgos geofísicos, los cuales el origen está en la geosfera y la atmósfera y un ejemplo de ellos es el riesgo climático.

El riesgo climático lo consideramos como un acontecimiento natural extremo que puede dañar a una población de un determinado espacio geográfico y que su peligrosidad está exclusivamente vinculada a las condiciones meteorológicas o climáticas.

Generalmente, los riesgos climáticos, han sido documentados y estudiados por diversos autores a un nivel general en el que el viento aparece como un componente más de los riesgos climáticos (ciclones tropicales, sequías, inundaciones, olas de frío y de calor, nevadas extraordinarias, tornados y pedrisco) (Olcina, 2003).

Los riesgos de origen climático constituyen el riesgo natural más estudiado en las últimas décadas, sin duda por el interés que suscitan la amplitud e intensidad de sus posibles afecciones así como el posible aumento del número de eventos extremos, relacionados con el cambio climático.

Disminuir las consecuencias de los riesgos climáticos es el principal motivo de estudio de los investigadores ya que tienen como reto poder hacer del día a día en la ciudad más seguro cuando nos visitan estos fenómenos meteorológicos. Estos resultados se pueden conseguir tras el conocimiento de los “territorios de riesgo” (Calvo, 2001). Ello supone el estudio de los rasgos presentes y pasados de eventos naturales de rango extraordinario que azotan con frecuencia un espacio geográfico. Y ello con vistas a prevención de éstos y, en última instancia, a la indagación de los efectos que podrían derivarse de una alteración futura de las condiciones del medio, esto es, el planteamiento de “escenarios futuros de riesgo” que motiven la toma de nuevas medidas a los estados en aras a la mitigación de sus posibles efectos (Olcina, 2003).

GEOFISICOS		BIOLOGICOS	
Climáticos y meteorológicos	Geológicos y geomorfológicos	Florales	Fáunicos
Ventiscas y nieve	Aludes	- Enfermedades producidas por hongos:	- Enfermedades bacterianas y producidas
Sequías	Terremotos	Pie de atleta	por virus:
Inundaciones	Erosión	Roya	Gripe
Nieblas	Desprendimientos tierras	Olmo holandés	Malaria
Heladas	Arenas movedizas	- Plagas:	Tifus
Pedrisco	Tsunamis	Mala hierba	Peste bubónica
Olas de calor	Erupciones volcánicas	Freatofitas	Enfermedades venéreas
Huracanes		Jacinto de agua	Rabia
Rayos			- Plagas:
Tornados			Conejos
			Termitas
			langostas
			Fiebre del heno
			Hiedra tóxica
			Mordiscos animales
			venenosos

Tabla 1. Clasificación de los riesgos. Fuente: Calvo

1.5 El viento como riesgo climático

Los temporales de viento aparecen cuando aumenta considerablemente la velocidad del viento. Según la velocidad del viento el temporal tiene una intensidad diferente. Se deben a la conjunción de factores meteorológicos (un elevado gradiente de presión) y una topografía que facilite la convergencia del aire (Calvo, 2001).

Según autores como Olcina se podría definir el viento como el aire que se mueve de un lugar a otro debido a variaciones de presión en la atmósfera. Estos cambios de presión suelen ser consecuencia de cambios de temperatura (por ejemplo el fenómeno de la brisa marina y la terrestre), el paso de un frente o la generación de borrascas.

Si la Tierra estuviera quieta, los vientos a la hora de circular se limitarían a seguir el gradiente de presión, tal como haría una pelota por un tobogán, dirigiéndose de las altas presiones a las bajas. Pero debido al movimiento de rotación se produce el efecto Coriolis, que produce una curvatura del flujo de aire hacia la derecha de la dirección de su movimiento en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Hay una serie de vientos constantes como los Alisios o los vientos del oeste. Esto se debe a que la forma de la Tierra, la distribución de los océanos y los continentes determinan que haya zonas de altas presiones y otras de bajas presiones. Como el aire circula de las zonas de altas presiones hacia las de baja presión (con una cierta desviación debido al efecto de Coriolis) este aire se convierte en viento. Los huracanes y los tornados, aunque también están relacionados con la velocidad del viento, tienen unas características diferentes. (Ayala; Olcina, 2002)

Las situaciones que en España producen temporales de viento son fundamentalmente las de viento Oeste ligadas a borrascas profundas en el Atlántico Norte o en las Canarias-Golfo de Cádiz o Norte de Africa.

En cuanto a los factores topográficos, destaca la convergencia en el Estrecho que produce temporales muy intensos y duraderos. En la Península Ibérica, dejando al margen los sectores montañosos, los sectores más afectados por los vientos de gran velocidad tienen una distribución anárquica y ello en función de disposiciones de líneas de costa y situación de relieves próximos proclives a la formación de pasillos. (Olcina, 1994)

Los sectores donde se han registrado rachas máximas de viento en lo que va de siglo son: Litoral cantábrico, Valle del Ebro (cierzo), Castilla, entre el suroeste de Burgos y noreste de Salamanca, La Mancha, en particular la provincia de Albacete, Litoral mediterráneo, especialmente

el litoral de Gerona, litoral levantino y la franja litoral de la Sierra de Gata, y la franja entre las bahías de Algeciras y Cádiz.

Fuerza	Definición	m/s	Km/h	Efectos en tierra
8	TEMPORAL (Duro)	17,2-20,7	62-74	Se rompen las ramas débiles de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento
9	TEMPORAL FUERTE (Muy duro)	20,8-24,4	75-88	Desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados
10	TEMPORAL MUY FUERTE (Temporal)	24,5-28,4	89-102	Arranca árboles y ocasiona daños considerables a los edificios.
11	TEMPORAL VIOLENTO (Borrasca)	28,5-32,6	103-117	Observada muy rara vez. Ocasiona destrozos por todas partes.
12	TEMPORAL HURACANADO (Huracán)	32,7-36,9	>118	Graves daños en infraestructuras y viviendas, puede provocar inundaciones.

Tabla 2. Escala de Beaufort. Fuente: Beaufort

Muchas particularidades de la vida de la ciudad de Zaragoza están relacionadas con el fuerte viento, que provoca fuertes descensos de temperatura, llegando a alcanzar intensidades de 100-120 Km/h, e incluso rachas de 160 Km/h (julio de 1954). Las características del viento en la ciudad de Zaragoza se han estudiado pocas veces a pesar de las veces que aparece, y anteriormente estas han sido objeto de estudio por autores como Biel (1954) , Hernández (1990) o López (1996)

Pero este fenómeno presenta una cierta irregularidad en su aparición a lo largo de la historia, no debiendo olvidar que también se han modificado las condiciones de la ciudad y modernización de las edificaciones con el tiempo, que han minimizado un riesgo climático que en el pasado creaba gran cantidad de siniestros.

Para saber de la historia del cierzo hay que hablar de Catón el Censor, estuvo en estas tierras en el siglo II a.c y se marchó de esta tierra escribiendo sobre el cierzo las siguientes palabras: “En estas regiones hay buenas minas de hierro y plata, un gran monte de sal pura que aumenta cuanto se

le quita. El viento cercio, cuando hablas, te llena la boca, derriba un hombre armado y carretas cargadas”.

En la Antigüedad parece que también el mistral de Provenza se llamaba cierzo y clásico como Plinio, Estrabón, Diodoro, Suetonio, hablaban de que su violencia era tal, que arrancaba y derribaba paredes.

Eugenio D’Ors, escritor del Siglo XX, dio a Zaragoza el título de “novia del viento” por la insistencia de éste.

Este viento, como uno de los elementos más significativos del clima aragonés, queda registrado también en la historia del folklóre popular en Aragón como son las jotas.

*«Al pasar el puente Piedra,
sujeta bien el sombrero
si no quieres que se vaya,
a dar un bañico al Ebro.»*

(Cándido Loscertales)

*«Yo no sé que tiene el aire
que azota nuestro Moncayo,
que hace a la mujer más hembra
y hace a los hombres más bravos. »*

(Popular)

*« Esta es la calle del aire,
la calle del remolino,
donde se remolinea
tu corazón con el mío. »*

(Popular)

2. OBJETIVOS

Existe una evidencia de que Zaragoza es una ciudad azotada por el viento. Este riesgo climático cuando hace acto de presencia, pone en peligro el día a día de los zaragozanos y hace que provoque daños en las zonas urbanas, por lo cual creemos que el estudio de las zonas más vulnerables de la ciudad de Zaragoza, consecuencias y posibles soluciones en materia de prevención, puede ser de utilidad para la planificación urbana y que pueda hacer posible una reducción de los daños ocasionados por el cierzo.

El objetivo general de este trabajo es evaluar el riesgo climático que tiene el viento, en este caso cierzo, en la ciudad de Zaragoza, en el que a partir de una velocidad de viento determinada comienza a hacer daños en la ciudad.

Además de este objetivo principal contamos con otra serie de objetivos específicos de gran importancia, ya que complementan y nos permiten llevar a cabo el objetivo principal. Son los siguientes:

- Analizar los datos de rachas máximas de viento en la ciudad de Zaragoza, para la identificación de los días de riesgo en la ciudad de Zaragoza en los últimos 5 años.
- Identificar las zonas más peligrosas y vulnerables por el cierzo en Zaragoza para saber cuáles son las zonas de Zaragoza más expuestas a sufrir daños.
- Analizar las consecuencias que provoca el cierzo en Zaragoza para la ciudad y sus habitantes así como la propuesta de objetivos para poder disminuir los daños en un futuro.

3. FUENTES

La fuente documental del trabajo se divide en el apartado bibliográfico y en el climático.

En primer lugar se hace un trabajo de recapitulación bibliográfica sobre trabajos anteriores y escritos sobre los riesgos climáticos y sobre el cierzo en Zaragoza. En segundo lugar, se recopila información sobre las variables climáticas, intervenciones del Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Zaragoza y noticias sacadas de la prensa digital a utilizar en el presente trabajo. Una vez expuestas las bases de datos y el tratamiento al que han sido sometidas, para su utilización en el trabajo, se desarrollará la metodología utilizada.

3.1 Base de datos climática

Las fuentes meteorológicas utilizadas para establecer las relaciones oportunas, como indicadores de riesgo, son los datos de racha máxima de viento correspondientes a la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza, en el intervalo de años 2013-2017 que me proporciona la Delegación Territorial de la agencia estatal de meteorología (AEMET) en Aragón.

Se han analizado las rachas de viento máximas de todos los días de ese intervalo de tiempo para poder llevar a cabo series temporales, mediante un simple promedio se calcula la racha máxima media de viento en Zaragoza, este dato es utilizado en los gráficos, así como un umbral de racha máxima de viento a partir del cual existe riesgo de aparición de siniestros.

3.2 Base de datos del Cuerpo de Bomberos

La información relativa a las intervenciones del Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Zaragoza han sido obtenidos gracias a la publicación de las memorias anuales de los bomberos y protección civil en la página web del ayuntamiento de Zaragoza.

Los datos de intervenciones que se seleccionaron, fueron las actuaciones por salvamento: ruinas y hundimiento (saneado de construcciones, consolidación, caída de árboles, carteles, farolas y otros) ya que considero que son las actuaciones por las que el cierzo de Zaragoza podría ser el principal culpable.

Analizamos los datos de los últimos 3 años que nos proporcionan y que coinciden con los años que tenemos datos climáticos, que son el 2013,2014 y 2015, y en total tenemos 1.154 siniestros, 2013 (525), 2014 (275) y 2015 (354).

3.3 Artículos de prensa

La información recogida en las noticias de los diferentes medios de comunicación, tanto en plataforma digital como en papel de los periódicos Heraldo de Aragón y Periódico de Aragón en los días registrados con cierzo, así como las salidas de los cuerpos de bomberos efectuados ese día.

3.4 Parques y jardines

La información sobre el riesgo del cierzo en la zona arbolada de la ciudad ha sido obtenida gracias a la colaboración de Amalia Barnola, jefa de la sección de gestión del arbolado del consistorio, que accedió amablemente a explicarme la problemática actual de las numerosas caídas de árboles en la ciudad de Zaragoza.

4. METODOLOGIA

La metodología seguida en este Trabajo Fin de Grado se estructura en tres apartados. En primer lugar, hablamos sobre que es riesgo climático y cierzo, como afecta y en qué circunstancias se da en la ciudad de Zaragoza, a continuación, se realizará unas gráficas en las que apreciará los momentos temporales en los que más se da el cierzo en Zaragoza y en qué medida aparece, así como la relación existente entre los días de cierzo y el número de salidas del cuerpo de Bomberos. Para finalizar se identifica con mapas las zonas más vulnerables de la ciudad de Zaragoza.

4.1 Análisis de cierzo

Tras la lectura exhaustiva de la bibliografía para la realización de este Trabajo Fin de Grado se define riesgo climático tal y como lo define el Dr. Francisco Calvo García-Tornel en sus trabajos sobre la geografía de los riesgos (Calvo 1984). Se establecen posibles causas y efectos de los riesgos climáticos apoyándonos en varias publicaciones Olcina (2003) y Calvo (2001).

El viento cierzo es lo siguiente que describimos, lo tratamos primero como un elemento de los riesgos climáticos, procedemos a su definición y explicación de las circunstancias en las que aparece en el territorio aragonés, en los que queda tratado en estudios anteriores como Biel (1954) o Hernández (1990). También se explica la manera que incide el cierzo en la ciudad de Zaragoza, para ello contamos con la colaboración de Protección Civil de Zaragoza, a través de ellos explicamos los modos de actuación dependiendo del nivel de velocidad de viento en la ciudad así como la proposición de los espacios posiblemente más vulnerables en la ciudad.

Tras la revisión de estas publicaciones y con la demostración en el estudio sobre riesgos climáticos en Zaragoza, se establece el umbral de viento de 60 km/h de los estudios de López (1996) de rachas máximas diarias en Zaragoza, en el que si se supera comienzan a aparecer siniestros y será el que a partir del cual procederemos a realizar los distintos parámetros estadísticos.

4.2 Relación estadística temporal

Se ha llevado a cabo un análisis estadístico de los datos climáticos con el objetivo de descubrir en que momento del año es más propenso a aparecer el cierzo en la ciudad de Zaragoza. Se realiza la gráfica estadística a partir de los datos de racha máxima diaria, racha máxima media diaria anual y el

umbral que hemos puesto a partir del cual aparecen los siniestros y el cierzo comienza a ser peligroso para la población.

4.3 Cartografía de zonas más vulnerables en Zaragoza

En este apartado se expone la metodología seguida para el análisis e identificación de las zonas más vulnerables por el cierzo en la ciudad de Zaragoza.

La cartografía se realiza mediante el programa ArcMap 10.2.2. Nos descargamos las capas que vamos a utilizar en los distintos mapas, en este caso utilizaremos las de manzanas y la del tramo vial de Zaragoza, que las conseguiremos a través de la página web del Instituto Geográfico Nacional (<http://www.ign.es>) así como la ortofoto de la ciudad de Zaragoza, a partir de ahí vamos creando los distintos mapas. La capa de manzanas la utilizaremos para el mapa de niveles de riesgo, para la identificación de las zonas arboladas de la ciudad y para los siniestros ocurridos en la ciudad. La capa de tramo vial la utilizaremos para el mapa de avenidas conductoras de cierzo.

5. EL VIENTO COMO RIESGO CLIMATICO EN ZARAGOZA

Los vientos de superficie son una variable meteorológica de notable significación en amplios sectores de Aragón, tanto por la frecuencia con la que soplan como por los caracteres particulares que imprimen al clima.

Sus mecanismos son, especialmente, un efecto topográfico. Los diferentes flujos de aire de cualquier procedencia se canalizan en el corredor abierto entre el Pirineo y la Ibérica, adquiriendo dos claras componentes: Oeste-Noroeste (ONO), al que se denomina cierzo, y Este-Sureste (ESE), llamado bochorno. Por esta razón, las rosas de los vientos de las tierras centrales aragonesas se deforman y alargan en sentido NO-SE, que es precisamente el de la dirección del río Ebro, mientras que el resto de las direcciones corresponden a situaciones de transición, de mucha menor frecuencia e intensidad.

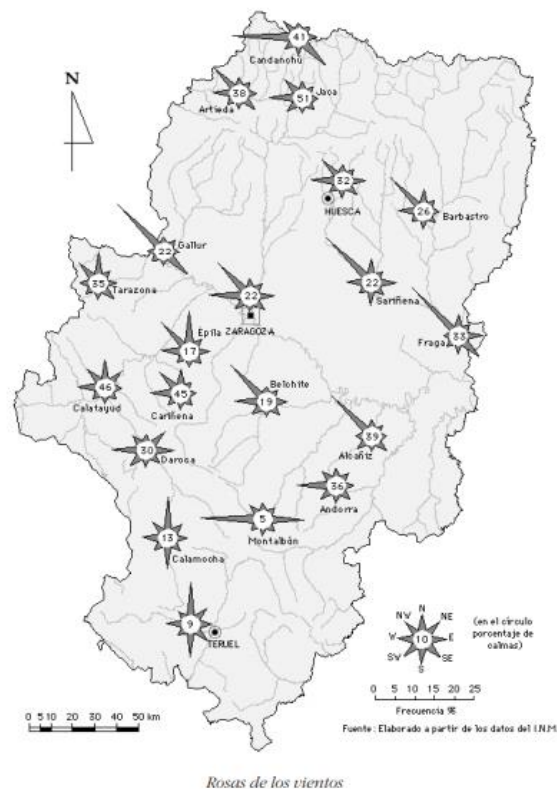


Figura 2. Rosas de los vientos en Aragón. Fuente: El clima de Aragón

El principal factor de riesgo climático en la ciudad de Zaragoza es el viento. Otros factores de riesgo climático que estarían en un segundo plano y que cuando aparecen obliga a aparecer a los servicios de emergencia y producen efectos negativos en la ciudad serían las tormentas de verano, inundaciones por parte del río Ebro y las precipitaciones.

Zaragoza tiene en el viento como principal riesgo climático ya que es azotada frecuentemente por el viento de componente NW, el comúnmente llamado en Aragón, Cierzo, aunque dependiendo de la localización en el que se da este viento, se le llama de diferentes formas. En las localidades fronterizas con Francia se le llama “Puerto”, en el somontano “Tramontana” y en otras localizaciones también se le conoce como “Regañón”, “Meapuestas” y “Morisco”

El cierzo tiene origen en la existencia de un anticiclón en el Cantábrico y en el golfo de Vizcaya y de una borrasca centrada en el Mediterráneo occidental. Con esta situación atmosférica, se establece un flujo de aire desde las altas a las bajas presiones, acelerado e intensificado en sus rachas por el “efecto de embudo” que sufre al encajonarse en el Valle del Ebro (Cuadrat, 2004).

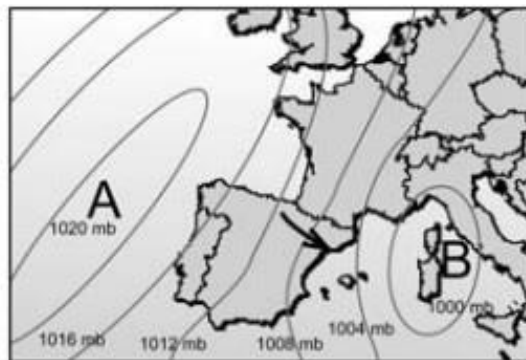


Figura 3. Formación del Cierzo. Fuente: www.tiempo.com

El cierzo es el responsable de la mayoría de siniestros provocados por fenómenos meteorológicos adversos, y que han precisado de actuaciones por parte de los Grupos de Intervención y Orden en la ciudad de Zaragoza. El saneado de construcciones, consolidación, caída de árboles, rotura de ramas, farolas y rotura de cristales entre otros, alcanzan al 80%, a pesar de ser Zaragoza una ciudad relativamente preparada para el viento, y la población a su vez habituada a este fenómeno.

Para poder identificar las posibles situaciones de emergencias causadas por el cierzo, hay que conocer y evaluar el riesgo. El riesgo está constituido como se ha explicado anteriormente por dos factores: el peligro y la vulnerabilidad. Se tienen en cuenta por tanto dos factores distintos que influyen sobre este riesgo.

Los factores que condicionan la peligrosidad del viento son aquellos que hacen que la probabilidad de que ocurran incidencias por este fenómeno sea mayor.

- La intensidad o velocidad con que sopla el viento: los efectos serán más importantes cuanto mayor sea la fuerza con la que el viento sopla en el municipio.

- Las rachas máximas: el viento es más peligroso cuando se producen desviaciones transitorias de la velocidad con respecto a su valor medio

En cuanto a la vulnerabilidad, si el viento sopla con mayor intensidad o muy racheado se produce una serie de problemas que afectan en buena medida a la población. Estos elementos que pueden padecer los efectos del viento se denominan elementos vulnerables, entre los que diferenciamos las zonas públicas y los núcleos urbanos.

Las zonas públicas serían parques, jardines y demás zonas arboladas, frecuentadas por personas que estén realizando actividades de ocio o deportivas. Los posibles riesgos que existen en estas zonas son caídas de árboles y ramas, con posible alcance de otras personas y objetos.

En los núcleos urbanos, entre los riesgos existentes está la posibilidad de caída de elementos de mobiliario urbano como farolas o árboles que puedan alcanzar a personas o vehículos. También se baraja la posibilidad de caída de elementos arquitectónicos de las viviendas como cornisas, cristales, ventanas, persianas y objetos decorativos o funcionales expuestos en los exteriores de las viviendas, pudiendo estos elementos alcanzar a personas o vehículos provocando daños materiales y personales.

La velocidad del viento en Zaragoza la podemos clasificar en la siguiente tabla:

VELOCIDAD	
Moderado	21-40 km/h
Fuerte	41-70 km/h
Muy fuerte	71-120 km/h
Huracanado	>120 km/h

Tabla 3. Clasificación de velocidad de viento en Zaragoza. Fuente: Protección civil

NIVEL	Intensidad del viento (Rachas máximas)
AMARILLO	70-90 Km/h
NARANJA	90-130 Km/h
ROJO	> 130 Km/h

Tabla 4. Clasificación de la emergencia según su nivel de gravedad. Fuente: Protección Civil

A efectos de poner en marcha las medidas de actuación contempladas en el Plan de Emergencia de Zaragoza se establecen unos umbrales para los cuales se activarán las diferentes fases de alerta, alarma y emergencia. Estos umbrales se establecen a partir de los datos recogidos en los boletines confeccionados por el Grupo de Predicción y Vigilancia Meteorológica.

5.1 Interconexión con otros riesgos. Riesgos asociados

El caso más probable de interconexión es el caso de coincidencia con lluvias, en este caso se hace realmente importante el riesgo de caída de árboles. En las tormentas de verano puede haber situaciones en las que en 1 hora con fuerte precipitación y vientos cercanos a 100 Km/h, se pueden caer hasta una treintena de árboles como sucedió el 12 de agosto de 2018 en Zaragoza.

También se puede asociar al riesgo de inundaciones, ya que cuando aumenta el nivel del Ebro y se desborda en las inmediaciones de la ciudad, aumenta el nivel freático, se producen filtraciones y si en esos días aparece el cierzo, los árboles pueden estar en riesgo grave de caída.

Por otra parte, el hecho de producirse una nueva situación de emergencia como consecuencia del viento se denomina efecto dominó. Este tipo de situación desencadenaría activar más de un plan de emergencia específico.

Otro de los riesgos asociados del cierzo, es que incide de forma muy negativa en la propagación de incendios. Puede provocar que éstos se expandan con mayor rapidez y en direcciones no esperadas. Especialmente peligroso en zonas con árboles y en el casco viejo donde las estructuras de las viviendas son de madera y las edificaciones son muy próximas.

Por tanto la ciudad tiene una doble cara frente a los riesgos climáticos, por un lado hace una función protectora, ya que debido a su carácter artificial tiene una red de abastecimiento cuando hay sequía, red de alcantarillado cuando hay un exceso de precipitaciones etc pero al ser un territorio que se encuentra muy ocupado por personas, mobiliario urbano, infraestructuras etc las repercusiones tanto económicas como sociales son mayores. Por lo que tienen que estar sumamente preparadas ante estas situaciones con las medidas de protección oportunas tanto con infraestructuras como por medios humanos como protección civil o bomberos para reducir los impactos ocasionados en las situaciones de riesgo (López, 1996).

6. RESULTADOS

En primer lugar, se exponen los resultados referidos a las gráficas realizadas. Una vez conocida la estadística anual de cierzo en Zaragoza y su nivel de fuerza, se incluyen noticias de prensa e imágenes que permitan profundizar y apreciar sus características y sus impactos en la ciudad de Zaragoza, para finalizar observando en la cartografía realizada el nivel de riesgo en Zaragoza así como la distribución espacial de los siniestros ocurridos a lo largo de la ciudad así como el análisis de los distritos.

6.1 Identificación temporal del Cierzo en Zaragoza

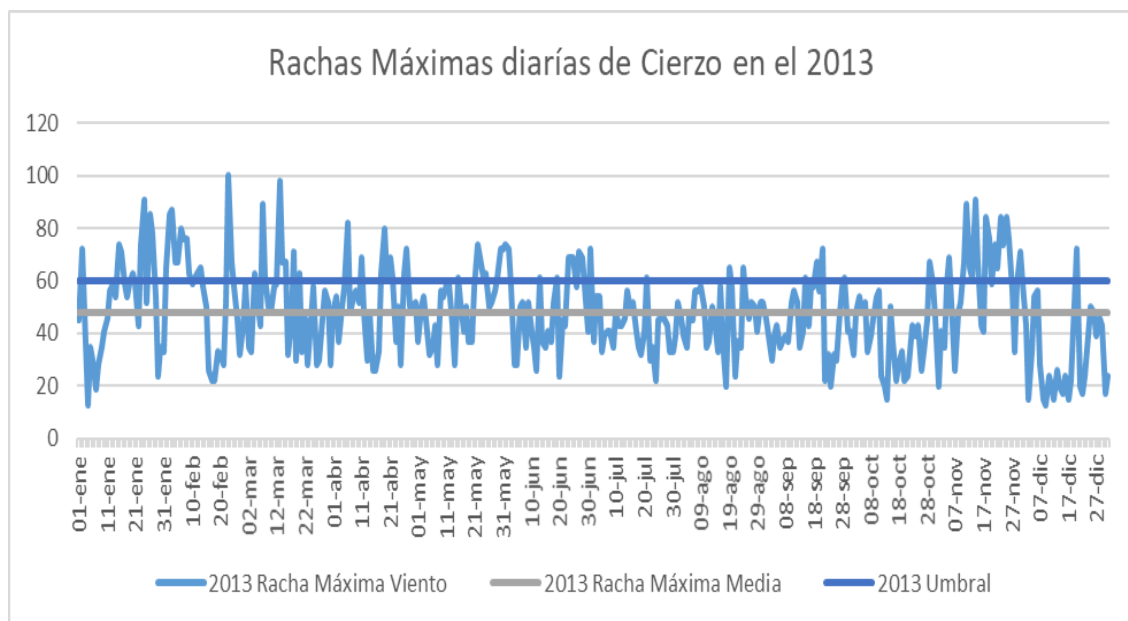


Gráfico 1. Rachas máxima y máxima media de viento y racha umbral de riesgo por Cierzo en el año 2013.

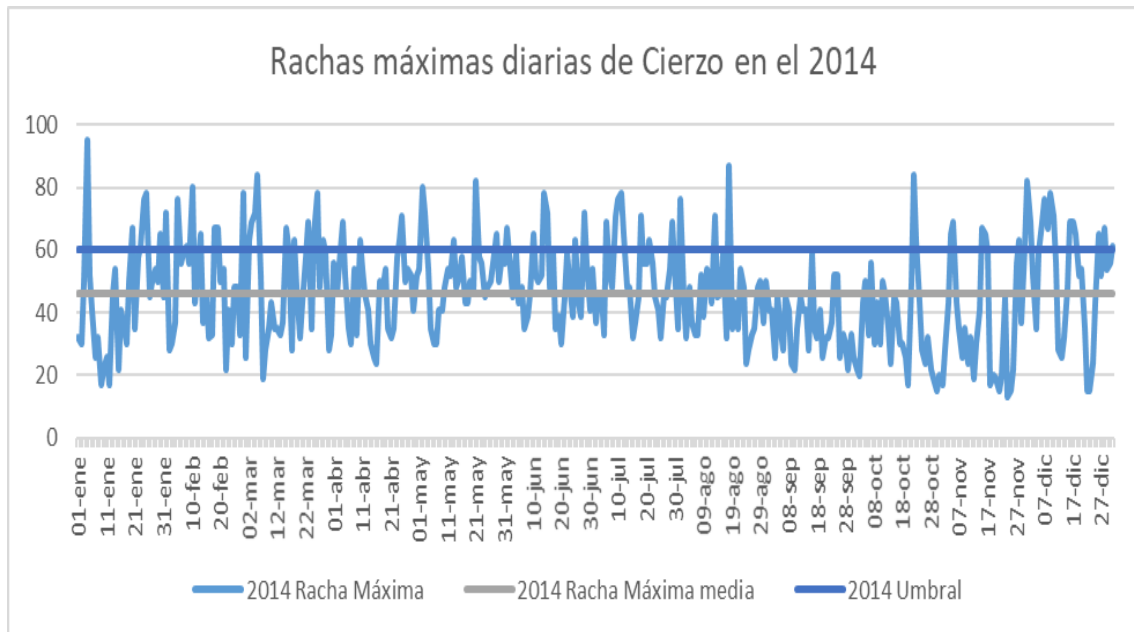


Gráfico 2. Rachas máxima y máxima media de viento y racha umbral de riesgo por Cierzo en el año 2014.

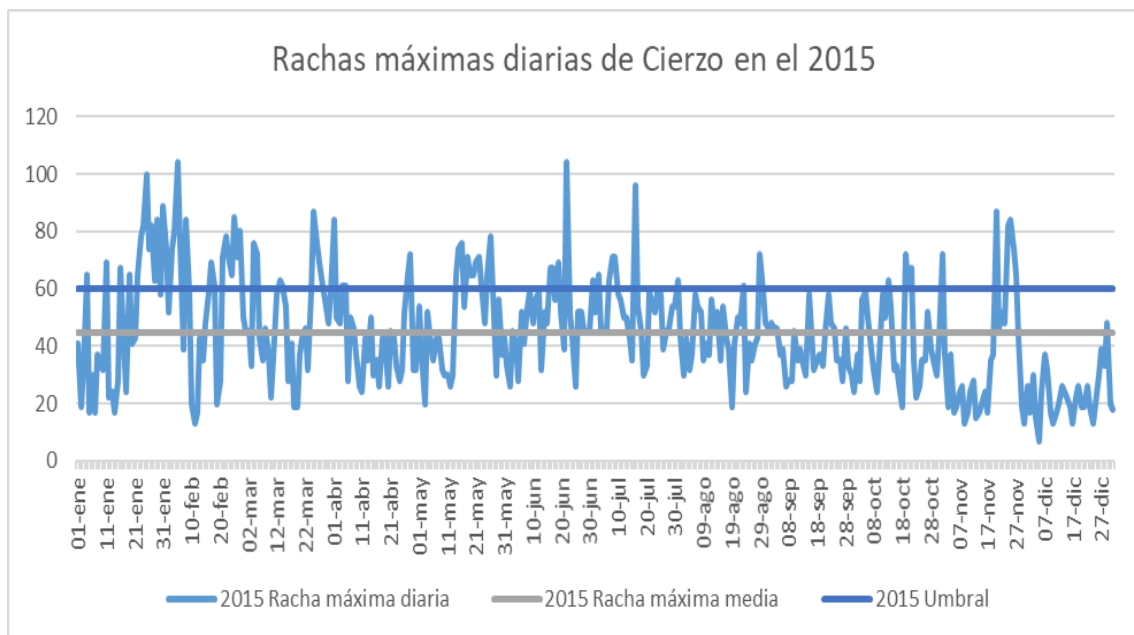


Gráfico 3. Rachas máxima y máxima media de viento y racha umbral de riesgo por Cierzo en el año 2015.

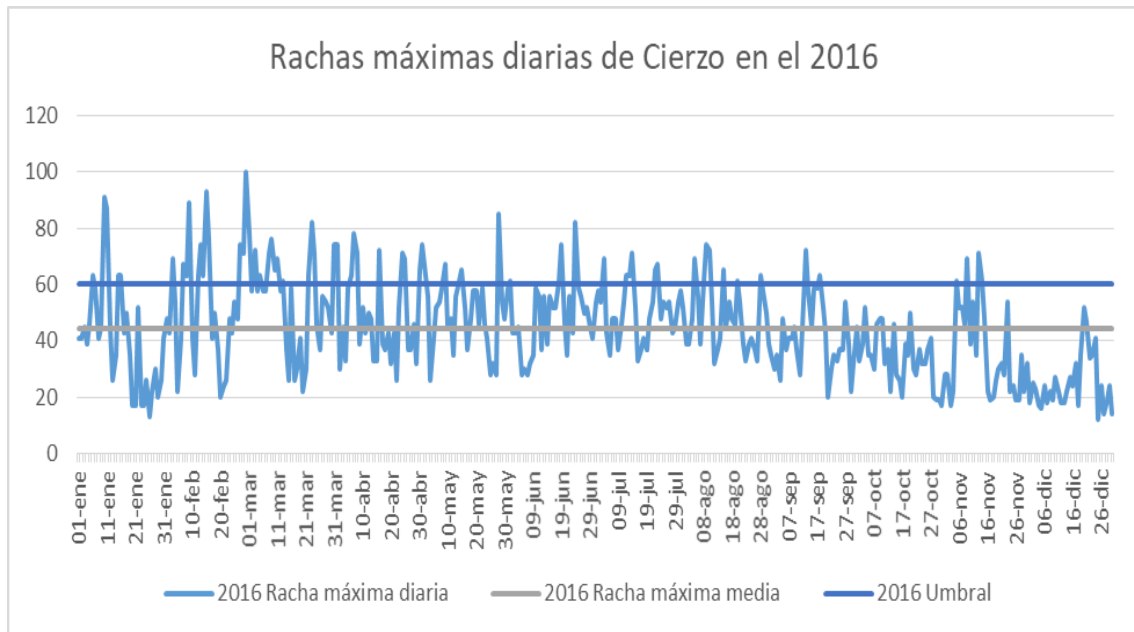


Gráfico 4. Rachas máxima y máxima media de viento y racha umbral de riesgo por Cierzo en el año 2016.

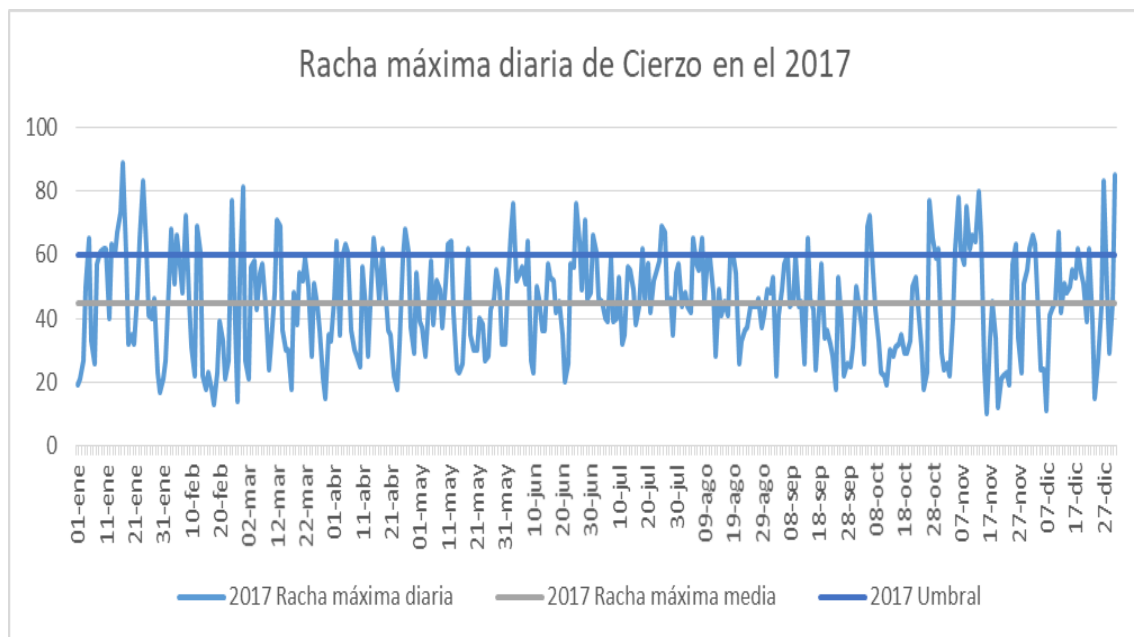


Gráfico 5. Rachas máxima y máxima media de viento y racha umbral de riesgo por Cierzo en el año 2017.

Elaboración propia

En las gráficas de cada año se aprecia que el cierzo no aparece en Zaragoza durante una época del año solamente, sino que a lo largo de todo el año se pueden dar días de riesgo de incidentes por cierzo, si bien es cierto que hay épocas del año en las que se repiten los picos de rachas máximas.

Se observa una media de racha máxima de viento al año de 44,46 km/h, una media alta si consideramos que el umbral de riesgo y las rachas en las que empiezan a ver incidentes está en 60 km/h.

Los días en los que se supera el umbral están generalmente entre los 60 y los 80 km/h y a partir de ahí, se registran 8 días al año de media en los que las rachas máximas de viento superan los 80km/h en los que se registran numerosos incidentes en la ciudad. Las rachas máximas llegan a superar los 100 km/h, hay tres días registrados en los años de estudio que superan esta cifra llegando a los 104 km/h de racha máxima.

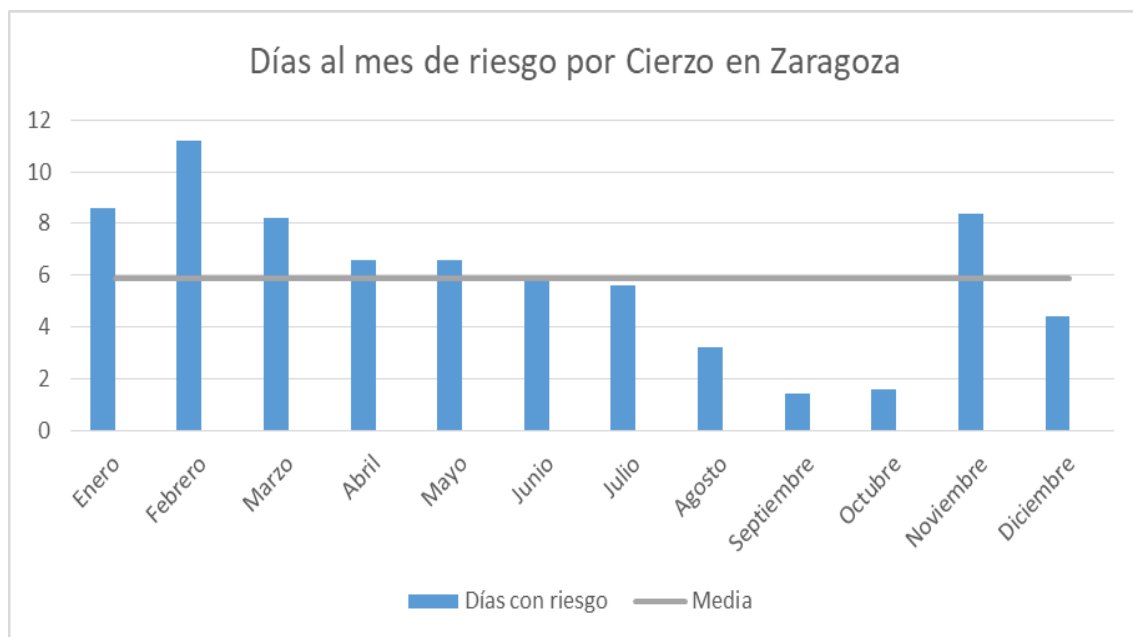


Gráfico 6. Días con riesgo y días de media de riesgo por cierzo que hay en cada mes en el período 2013-2017.

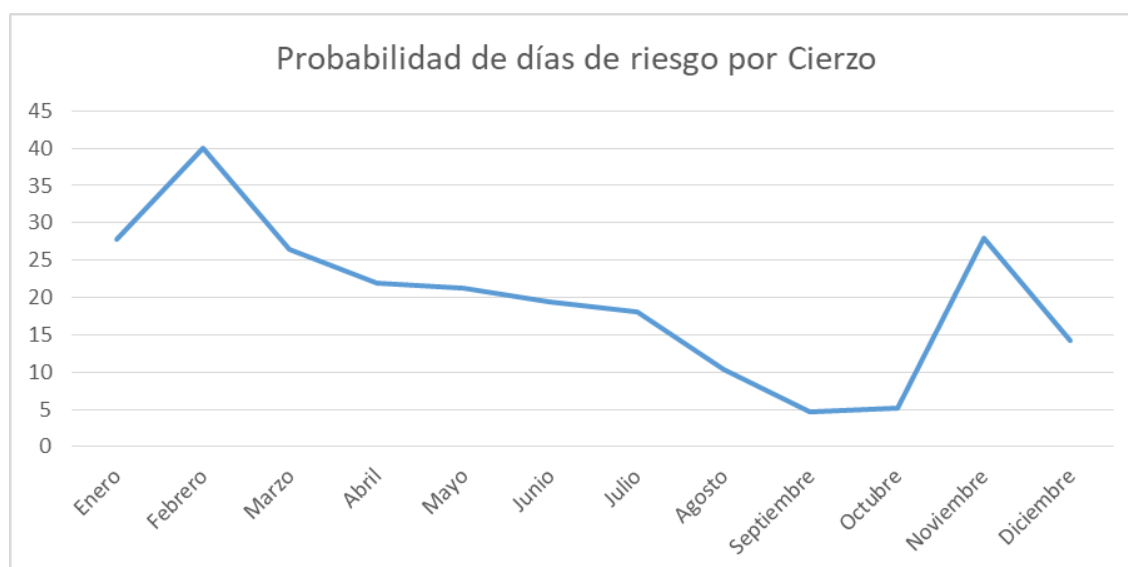


Gráfico 7. Probabilidad de que haya días con riesgo por Cierzo en cada mes tras el estudio del período 2013-2017.

En las gráficas se aprecia en que meses es más fácil que ocurran días con un cierzo que supere el umbral de riesgo de 60 km/h.

Febrero es el mes con más días de riesgo con 11 y una probabilidad del 40%, seguido de noviembre, enero y marzo con 8 días y una probabilidad cercana al 28%, los meses de primavera de Abril y Mayo se quedan en 6 y Junio en 5 con una probabilidad del 20% y en los veranos se aprecia un bajón a partir de Agosto, con 3 días y un 10%. En septiembre y octubre son los meses con menos riesgo ya que apenas llegan a los 2 días y un 5% de probabilidad de un día con fuerte cierzo.

	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	51,9	45,2	49,6	40,5	47,7
Febrero	56,5	50	58,1	54,1	42,1
Marzo	50,8	48,6	48,8	54,6	41,4
Abril	51,8	46,9	42,6	48,4	45,2
Mayo	51,1	52,2	50,3	51	40,6
Junio	49,7	50,6	49,6	48,4	49,4
Julio	42,7	51,6	53,3	51,1	49,7
Agosto	46	45,2	44,1	49	46,6
Septiembre	44,6	36,1	39	41,2	40,5
Octubre	39,1	35,4	41	34,1	40,3
Noviembre	60,4	36,7	37	36,2	43,7
Diciembre	31,9	53	22,9	24,6	47,3

Tabla 3. Probabilidad de que haya días con riesgo por cierzo en cada mes en el período 2013-2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	8	6	13	5	11
Febrero	14	8	15	12	7
Marzo	8	11	8	12	2
Abril	9	4	5	8	7
Mayo	8	5	11	6	3
Junio	9	6	4	4	6
Julio	2	8	7	6	5
Agosto	2	3	2	7	2
Septiembre	4	0	0	2	1
Octubre	1	2	0	0	5
Noviembre	16	6	6	4	10
Diciembre	1	13	0	0	8

Tabla 4. Número de días que superan el umbral de riesgo por cierzo en cada mes en el período 2013-2017

6.2 Zonas de riesgo por el viento en la ciudad de Zaragoza

En este apartado se procede a la identificación y evaluación de riesgos dentro del marco geográfico de la ciudad de Zaragoza. A partir de la enumeración de los riesgos inherentes a vientos fuertes hecha en el apartado descriptivo, se situarán éstos en su contexto topológico.

Para el contexto topológico se han elaborado unos mapas de riesgos del término municipal, donde se identifican las zonas de Zaragoza más susceptibles de padecer este tipo de incidencias: Zonas de la ciudad más expuestas al cierzo por niveles, avenidas conductoras de cierzo, zonas arboladas y zonas con edificios antiguos con probabilidad de caída de materiales.

6.2.1 Avenidas canalizadoras de Cierzo

Las características morfológicas del entramado urbano, así como las características de las calles, tales como la anchura y su altura, provocan grandes variaciones de la velocidad del viento en calles adyacentes. Las calles anchas como son las avenidas, favorecen la canalización del viento y la

velocidad del viento es mayor. En cambio las calles estrechas provocan una importante disminución de la velocidad del viento. La altura de los edificios también provoca una importante alteración del flujo aéreo, por lo tanto en calles con edificios altos tendremos una rugosidad del viento más importante, con más turbulencias, respecto a calles con edificios menos altos, esto se le llama efecto túnel.

Esto provoca que en el entramado urbano de Zaragoza aparezcan una serie de avenidas y calles que su morfología, su localización y su dirección, se conviertan en perfectas canalizadoras del cierzo hacia el centro de la ciudad y el cierzo discurra por estas avenidas a gran velocidad con su consiguiente riesgo para la ciudadanía.

MAPA DE AVENIDAS CON RIESGO

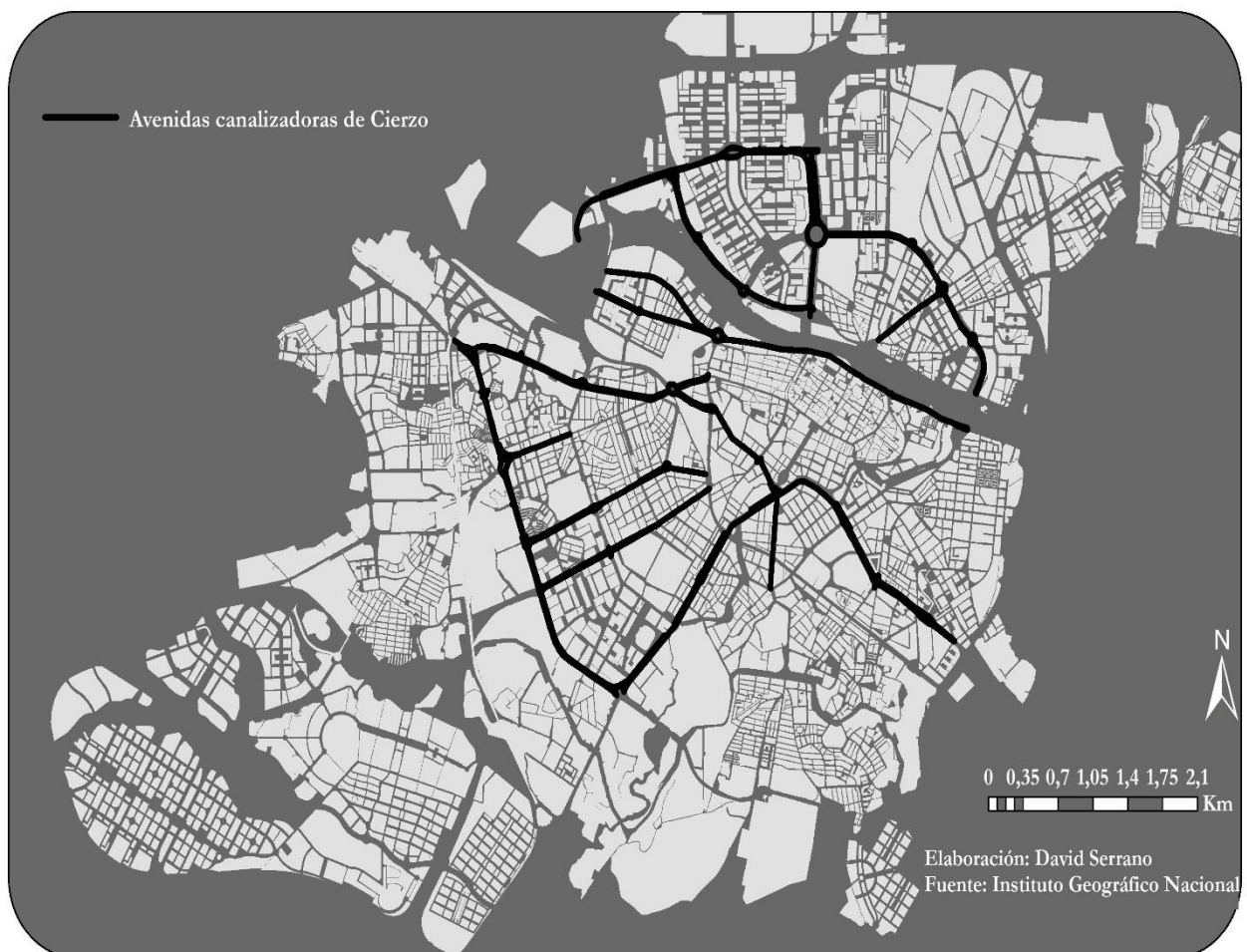


Figura 4. Mapa de avenidas canalizadoras de Cierzo. Fuente: Elaboración propia

Estas avenidas se encuentran en su mayoría en la zona oeste de la ciudad, que son las que dan entrada a la ciudad por ese lado y que siguen la misma dirección a la ciudad que tiene el cierzo, un claro ejemplo es la Avenida Navarra que está en perfecta sintonía con la dirección del viento y que hace de túnel conductor del viento hasta el mismo centro de la ciudad.

También encontramos ejemplos en otras zonas de Zaragoza, que aunque no se encuentren expuestas en el lado oeste, su morfología y dirección hace que también se produzcan en ellas grandes rachas de viento y aparezcan incidentes, como la Calle Marqués de la Cadena en el barrio de La Jota.

En el mapa señalamos también el corredor Avenida Navarra-Paseo María Agustín-Avenida Cesáreo Alierta como perfecto indicativo de conjunto de tres avenidas anchas con dirección sureste, en las que el viento pasa por toda la ciudad a través de la unión de ellas.

Las avenidas cercanas a los ríos como son Paseo Echegaray, Avenida de Ranillas o Avenida Cataluña también son consideradas zonas de riesgo ya que el río Ebro a su paso por Zaragoza también sigue la misma dirección del cierzo lo que le hace perfecto conductor de viento y estas avenidas también son anchas.

Los siniestros que se dan en este tipo de avenidas suelen ser producidos generalmente por la caída de árboles o de las ramas de los árboles, pero también se dan situaciones de rotura del mobiliario urbano o afectaciones en edificios.

Las caídas de árboles generalmente se dan en los parques, pero también hay ejemplos de caídas de árboles de grandes dimensiones o ramas de estos en el tramo viario, produciendo afectaciones en vehículos o en consecuencias más serias, hiriendo a peatones que en el lugar de la caída del árbol pasaban por ahí.



Figura 5. Esta imagen corresponde al árbol de 15 metros caído el 29/6/17 a la altura de Camino de las Torres con Miguel Servet en el que hirió a un anciano de 72 años produciéndole un traumatismo craneoencefálico. Fuente: Heraldo de Aragón



Figura 6. Esta imagen pertenece a la marquesina situada en Paseo Independencia que el cierzo del día 26/3/18 reventó los cristales e hirió a 2 personas que estaban en ella. Fuente: Heraldo de Aragón

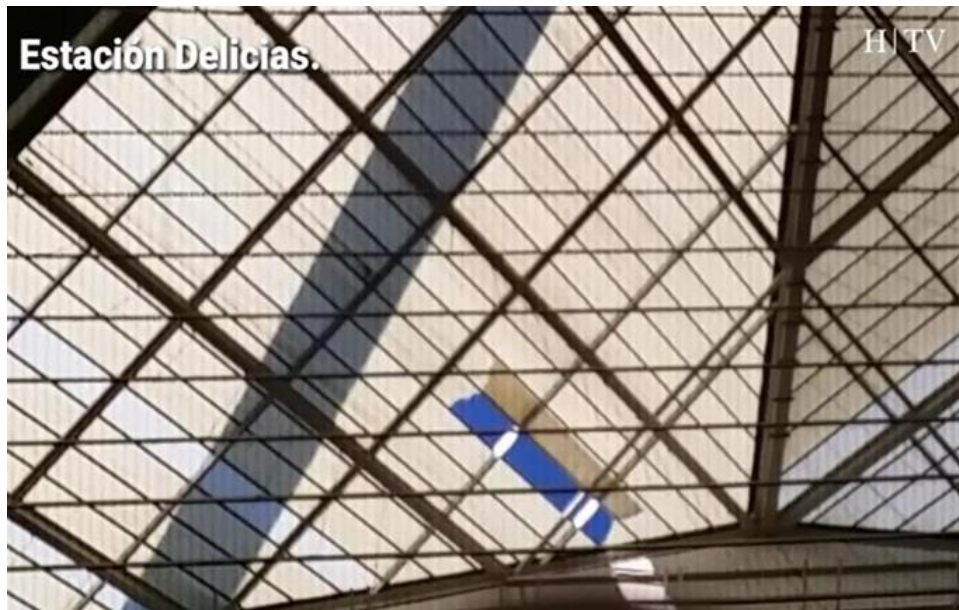


Figura 7. Esta imagen es de la rotura de un panel de la cubierta de la estación Delicias de Zaragoza situada en Avenida Navarra el día 21/3/18. Fuente: Heraldo de Aragón

6.2.2 Zonas con riesgo por cierzo

En la ciudad de Zaragoza se observa una serie de zonas que por su localización geográfica se encuentran más expuestas a los vientos de componente noroeste y por lo tanto sufren las rachas del viento cierzo de una mayor manera. Se ha establecido tres niveles de riesgo (alto, medio y bajo) dependiendo de la fuerza que puede tener el cierzo en cada zona y la posibilidad que tenga esta zona de sufrir incidencias.

MAPA DE NIVELES DE RIESGO

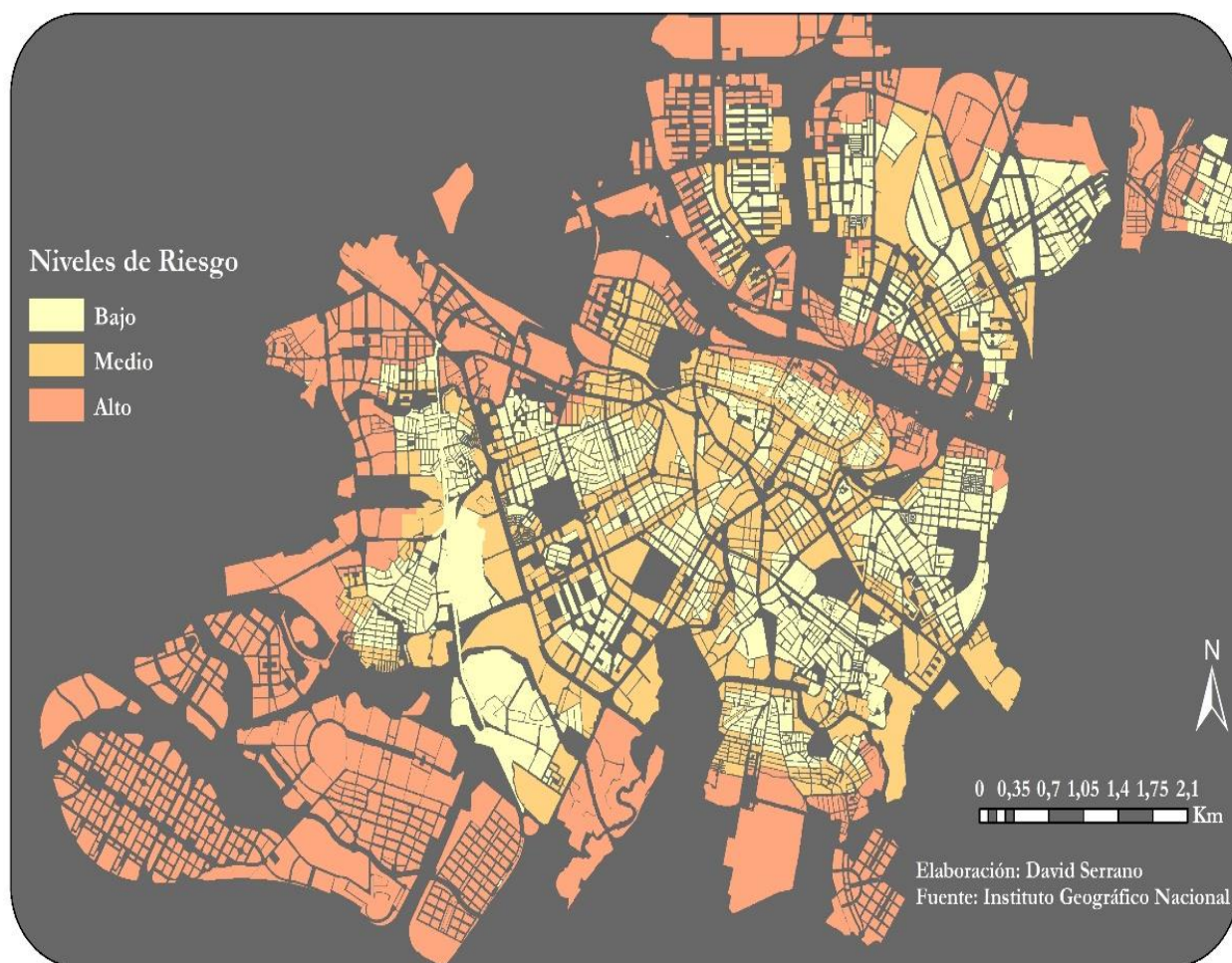


Figura 11. Mapa de niveles de riesgo por cierzo en Zaragoza.

Nivel alto de riesgo por cierzo

Con un nivel alto de riesgo por cierzo se observan localizaciones que se encuentran en la zona suroeste, oeste y norte de la ciudad. En la zona sur-suroeste observamos los barrios Arcosur, Valdespartera, Montecanal, o Parque Venecia, estos barrios se encuentran en la periferia, esto significa que están totalmente expuestos, ya que el cierzo no encuentra obstáculos en su camino, ayudado también por la amplitud de sus calles y la distancia hay entre edificios en estos barrios de nueva construcción.

Esto produce que en estos barrios se de la posibilidad de que en días de cierzo te puedes encontrar contenedores que vuelan y que ocupan la calzada vertiendo las basuras. El año pasado los vecinos de estos barrios cansados de que en días de cierzo ocurran estos incidentes, llevaron quejas

al consistorio municipal en busca de soluciones y se consiguió que se instalaran contenedores aerodinámicos, pero aun así, según los vecinos de Arcosur no se ha conseguido subsanar el problema.



Figura 8. Contenedores volados en Arcosur y Miralbueno. Fuente: El Periódico de Aragón



Figura 9. También se producen incidentes en edificios, por ejemplo, en la calle Una noche en la opera en el barrio de Valdespartera, se cayó parte del recubrimiento metálico del edificio. Fuente: Heraldo de Aragón

Otro factor que se tiene en cuenta en los barrios es la altitud a la que se encuentran, por ejemplo el barrio de Torrero situado también la zona sur de la ciudad, pero menos periférico que los anteriores, posee una altitud casi 100 metros más alto que las zonas de ribera, que hace que se noten rachas de viento más fuertes al estar más expuesto por este motivo.

Los barrios con riesgo de cierzo de la zona Oeste de la ciudad, serían Valdefierro, Miralbueno, y las partes exteriores del Oliver, Delicias, Almozara y Actur. Son barrios que se encuentra a menor altitud que los nombrados anteriormente, pero su localización, se encuentran a merced de la entrada del cierzo que tiene componente noroeste y las principales avenidas de estos

barrios conducen el Cierzo al centro de la ciudad por medio de avenidas como son la avenida Navarra o avenida Pablo Gargallo.

Otro factor de entrada del Cierzo por este lado de la ciudad es el río Ebro. El río Ebro también hace de conductor del Cierzo y en la Almozara y Actur se encuentran las riberas del río cuando empieza a entrar a la ciudad, por lo que estos barrios se encuentran también expuestos por esta parte.



Figura 10. En la imagen se aprecia como fruto del cierzo salieron despedidas varias chapas del Pabellón Puente en la Almozara. Fuente: Heraldo de Aragón

En la zona norte de la ciudad, establecemos Santa Isabel, Juslibol, las zonas periféricas del Actur y del Picarral así como la parte del Arrabal que da a la Avenida de los Pirineos como las zonas más expuestas al cierzo.

Nivel medio de riesgo por cierzo

En este nivel, situamos zonas urbanas más protegidas que las anteriores, ya que se encuentran más céntricas en la ciudad, pero que por diversas situaciones, el viento cierzo también aparece con intensidad y produce incidentes.

Encontramos zonas localizadas en el interior de barrios periféricos del oeste de la ciudad, zonas más protegidas por los edificios pero que aun así reciben con fuerza el viento y son propensas a sufrir incidentes.

Zonas localizadas a los lados de las grandes avenidas conductoras de cierzo, estas avenidas que favorecen la entrada de cierzo a la ciudad y fluya por ellas el cierzo a gran velocidad hace que tanto estas avenidas como las calles, plazas o parques situados cerca de ellas tengan un factor de riesgo y aparezcan incidentes.

Nivel bajo de riesgo por cierzo

En este nivel situamos el resto de la ciudad no identificada anteriormente, son zonas que podemos encontrar en toda la ciudad pero en su mayor parte en el centro y en la zona este. En estos lugares no significa que el cierzo no pueda circular también con fuerza por ahí, pero se encuentran más protegidas por los edificios o son zonas con calles más pequeñas que impide que fluya y coja velocidad el cierzo por ellas, que hacen que sean localizaciones en la ciudad donde apenas ocurren incidentes en días de cierzo.

6.3 Acción del viento sobre zonas arboladas

En la ciudad de Zaragoza hay 778,73 ha. de zonas verdes urbanas (parques y jardines) más 67,8 ha de parque localizadas en su entorno periurbano, lo que hace un total de 846,53 ha. Zaragoza se sitúa entre las grandes ciudades españolas con mayor ratio de zonas verdes por habitante. Esto hace también, que sea una de las ciudades con mayor riesgo de caída de árboles al año, con 3.000 ejemplares en riesgo de caída, debido entre otras cosas a las rachas de viento que existen en la ciudad.

6.3.1 Estática de los árboles

Se define estática de los árboles como el riesgo de caída o ruptura del tronco, lo que indica el potencial de anclaje del sistema radicular (Brudi, 2001).

Los árboles en el medio urbano están expuestos a múltiples tensiones: deshielo, sales, tráfico, vibración, compactación del suelo, polvo o a la reverberación solar. Los sistemas radiculares están limitados por la falta de espacio, los suelos poco profundos o las excavaciones por obras.

Las podas inadecuadas no sólo pudren el sistema radicular, sino que dañan también la madera del tronco aumentando las probabilidades de fractura y caída. Se han desarrollado diversos métodos para la inspección de los árboles con el objeto de minimizar el peligro. La mayor parte de estos métodos se centran en las paredes residuales del tronco, descuidando las propiedades del material así como las cargas que ocurren durante las tormentas

Cuanto más alto sea el árbol, mayor es el efecto vela, y más cargas se desarrollaran durante una tormenta y se transmiten al tronco. A medida que el tronco se balancea, sus fibras periféricas extienden el lado de tensión y acortan el de compresión. Estas alteraciones en longitud pueden medirse mediante instrumentos muy sensibles denominados elastómetros. (Brudi, 2001)

En la estática de los árboles la resistencia de un árbol para soportar la carga del viento se calcula teniendo en cuenta la forma de la estructura que aguanta la carga (tronco), las propiedades de la madera verde y las fuerzas que se aplican.

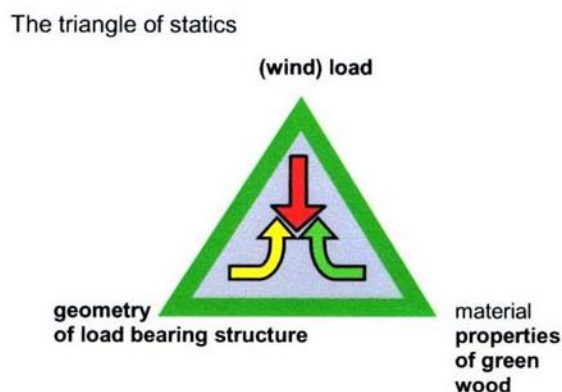


Figura 12. El triángulo de la estática. Fuente: Brudi

6.3.2 Factores y vulnerabilidad que actúan sobre la estabilidad de los árboles cuando hay cierzo o tormentas en Zaragoza

En Zaragoza se dan dos fenómenos meteorológicos que ponen en riesgo la estabilidad de los árboles en la ciudad cuando hacen acto de presencia, estos serían las fuertes rachas de viento producidas por el cierzo y las tormentas de verano en las que se unen gran cantidad de lluvia con viento huracanado.

El día 11 de Agosto de 2018 se produjo una fuerte tormenta en la que se cayeron más de 300 árboles en la ciudad, esto no es fruto de la casualidad y entre otros factores hay uno que destaca por encima que es el problema del sistema radicular de los árboles en Zaragoza.

En Zaragoza el factor más importante sin lugar a duda son el cierzo y las tormentas, las fuertes rachas de viento que se dan en la ciudad hacen que los árboles soporten mucha carga y acaben doblados o en el suelo ya que su sistema radicular no aguanta esta carga y se vence, esta situación se puede explicar a través del efecto vela.

En Zaragoza en días de tormenta y de cierzo, los árboles tienen que aguantar rachas de viento de más de 100 km/h y se produce en ellos el llamado efecto vela, los árboles soportan la carga del viento, que cuanto más alto es el árbol y mayor superficie y densidad de copa tiene, mayor es el efecto vela y por tanto, mayor la carga que durante un día de fuerte viento o tormenta se transmite al tronco y al terreno ocupado por el sistema radicular.

El sistema radicular es el que tiene que sostener al árbol y entonces vienen los problemas ya que muchos árboles de la ciudad se encuentran ubicados en lugares donde no tienen el espacio necesario para desarrollar un buen anclaje o la resistencia del sistema radicular del árbol se ve reducida por factores como la lluvia, riego excesivo, inundación o agua subterránea que dañan las raíces y provocan pérdida de cohesión en las partículas del suelo.

La ubicación del árbol también influye de gran manera en el nivel de riesgo de caída, ya que un árbol localizado en una parte de la ciudad, recibirá mayor carga de velocidad de viento o tendrá una mayor humedad en el terreno en el que está situado que otro ubicado en otra zona.

Los árboles que mayores rachas de viento tienen que soportar en Zaragoza se encuentran en la zona Oeste de la ciudad, ya que se localizan en barrios periféricos como Miralbueno o Valdespartera que reciben directamente el viento cierzo debido a su componente Noroeste, esto se une a que se encuentran desprotegidos de elementos como montañas. En el barrio de Torrero también suele llevar más fuerza el cierzo debido a la altura a la que se encuentra el barrio respecto a la ciudad. Cuando nos adentramos en el centro de la ciudad, los árboles situados en grandes avenidas sufren en algunos casos fuertes rachas de viento por el llamado efecto Túnel. Aunque las topografías rugosas ralentizan la velocidad en las zonas adyacentes, los edificios altos con superficies lisas pueden causar un efecto túnel aumentando ostensiblemente la velocidad del viento provocando numerosas caídas en días de cierzo, ya que los árboles en estas áreas pueden estar expuestos a mayores fuerzas eólicas que en una localización abierta y desprotegida.

Por ultimo el aumento del nivel freático en parques o zonas arboladas cercanas al río Ebro debido a una inundación hacen que algunos tipos de árboles como el pino, no respondan bien debido a su pobre desarrollo radicular comentado anteriormente y algunos parques cercanos al río como el Tio Jorge tengan un mayor riesgo de caídas de árboles, debido a que este parque forma parte de un corredor natural que se corresponde con la capa freática del Río Ebro.

6.3.3 Problemática del Pino Carrasco (*Pinus halepensis*)



Figura 13. Pino Carrasco. Fuente: www.parqueszaragoza.es

El pino carrasco (*pinus halepensis*) es el tipo de árbol que más problemas causa a la ciudad de Zaragoza, hay plantados 8.630 ejemplares de esta especie, de los cuales 5.199 se encuentran en las calles. Y aunque solo suponen un 6% de la población total del arbolado (128.829) son los árboles que inspiran mayor peligro a los vecinos de los diferentes barrios de la ciudad ya que el 90% de los siniestros ocurridos en el tema de arbolado tienen como protagonista al pino carrasco.

Después de hablar con Amalia Barnola que es la jefa de la sección de gestión del arbolado del ayuntamiento de Zaragoza, me comentó algunos motivos por lo cual el pino carrasco tienen este porcentaje.

Uno de los problemas de los pinos es que el sistema de cultivo que se utilizó en los años 60 no permitió desarrollar sus raíces libremente, y se formaron en espiral, esto significa que no permite al árbol tener suficiente anclaje en el suelo, en los parques de Zaragoza, se utiliza un sistema de riego por aspersión que hace humedecer el suelo y por lo consiguiente pierde las propiedades de cohesión, por lo que finalmente acaba cediendo el árbol.

Otro de los problemas que presenta esta especie es que son de hoja perenne, por lo que tienen hojas durante todo el año y estas se sitúan en la copa, obteniendo un peso que el árbol no puede aguantar unido a la fuerza del viento.



Figura 14. Pinos carrascos en el parque Jose Antonio Labordeta el día 1/8/18.

Estos árboles presentan un tronco largo y no muy grueso, esto se debe a que en Zaragoza existe un crecimiento rápido por la competencia por buscar el sol antes que los otros, esto hace que se produzca una descomposición en altura entre el peso de la copa y el tronco, y hace que el tronco no tenga la suficiente fuerza para resistir el envite de las potentes rachas de viento, un ejemplo lo tenemos en los ejemplares de la Calle Monte Perdido.

La imagen que se presenta a continuación data el último suceso grave registrado en Zaragoza, sucedió el 30 de mayo de 2018, cuando un pino de grandes dimensiones del Parque Castillo Palomar, cedió debido a la inclinación que tenía, el riego por aspersión y la ayuda de las rachas de cierzo. Por suerte no alcanzó a ningún peatón ni a ningún coche en una calle que suele ser bastante transitada.



Figura 15. En la imagen se aprecia como varios árboles presentan una inclinación considerable, estos pinos hay previsión de que se talen, en total 35 en todo el parque, ya que el riesgo es evidente. Fuente: Heraldo de Aragón

6.3.4 Vulnerabilidad por especies

Las numerosas incidencias por caídas de árboles en Zaragoza obligue a pensar que tipo de árboles son los que más riesgo tienen y por cuáles sería bueno que se sustituyeran.

Como ya hemos explicado anteriormente la especie más propensa a caerse es el pino, hay otras más propensas a roturas de ramas, como es el caso del sauce y la melia, aunque la presencia de ramas secas en alguna otra especie debido al no adecuado cuidado del arbolado también supone un riesgo. El árbol del amor (*cercis siliquastrum*) es otra especie que presenta problemas ya que no resiste el viento y presenta fuertes inclinaciones, requiriendo un entutorado, que es colocar una estaca o soporte que sirva de guía para mantener erecta la planta.

Las especies que podrían sustituir a los pinos en terrenos con alta humedad, serían especies de ribera, ya que son adaptables a muchas situaciones, álamos, sauces, fresnos, tamarices entre otras. . siempre se sustituye. Por otro lado hay especies muy seguras, como es el caso del Almez (*Celtis australis*), y especies que soportan muy bien la exposición al viento, como es el caso de el Jabonero de China (*Koelreuteria paniculata*).

En la reposición del arbolado de la ciudad de Zaragoza, la técnico del ayuntamiento encargada del árbolado, me explicó que en ningún caso se utilizan pinos para la reposición de arbolado. Por ejemplo en la Universidad se hizo una renovación de arbolado tras una revisión de

seguridad. Principalmente se actuó sobre dos especies pinos y chopos. Los primeros por fuertes inclinaciones y/o descompensación de copas; los segundos por problemas de pudriciones y partes altas secas, se plantaron alcorques en su lugar.

6.3.5 Clasificación zonas verdes urbanas en Zaragoza

En la ciudad de Zaragoza las zonas verdes urbanas con riesgo de cierzo son las siguientes:

- Grandes parques urbanos: Son aquellos que estando a una distancia de menos de 10 kilómetros del casco urbano tienen una superficie igual o superior a 10 hectáreas. Parque Jose Antonio Labordeta.
- Pequeños parques urbanos: Son aquellos que siendo urbano por su situación, tienen una superficie entre 1,5 y 10 hectáreas. Parque Castillo Palomar.
- Grandes plazas arboladas o ajardinadas: plazas o jardines que se encuentran situados entre alineaciones de calles. Plaza de los Sitios.
- Avenidas con paseo arbolado o ajardinado: aquellos que teniendo tráfico rodado, cuentan con aceras o paseos laterales o centrales de anchura superior a los 10 metros, con partes ajardinadas o filas de árboles por acera. Avenida Cesáreo Alierta.

RELACIÓN ENTRE LAS ZONAS ARBOLADAS Y LOS NIVELES DE RIESGO

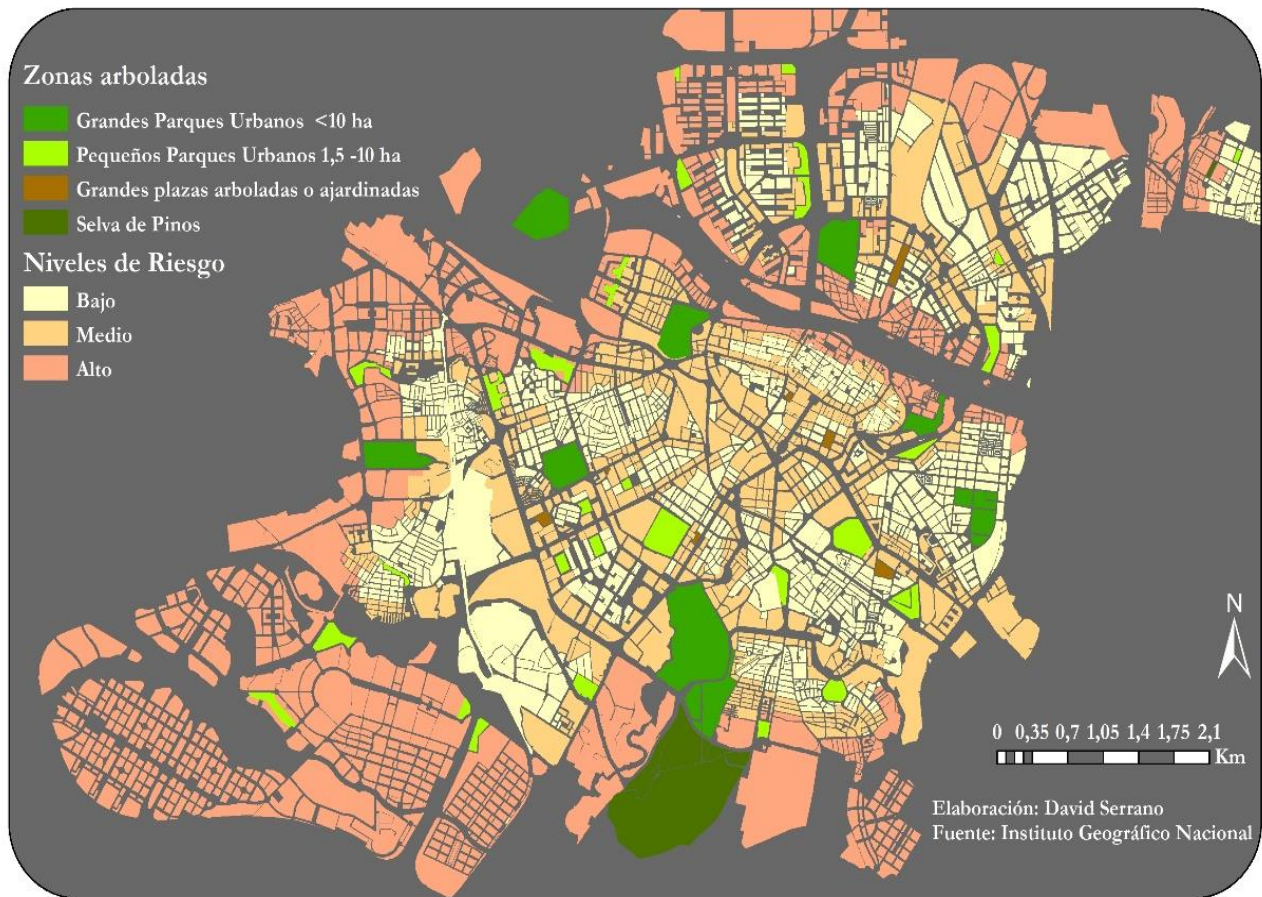


Figura 16. Relación entre zonas arboladas en la ciudad de Zaragoza y niveles de riesgo por cierzo.

En la cartografía se observa como se encuadran las zonas arboladas urbanas existentes en Zaragoza con el nivel de riesgo dado anteriormente.

Las zonas arboladas localizados en zonas con un nivel alto de riesgo por cierzo se encuentran en la zona oeste de la ciudad parques grandes como el parque del Agua (zona expo), parque del Oeste (Barrio Oliver) y parques más pequeños como el parque del Conocimiento (Montecanal) o parque de la Tolerancia (Actur) que reciben directamente el cierzo a su entrada a la ciudad. El parque del Tío Jorge (Arrabal) o el parque de Macanaz se sitúan en una localización cercana al río Ebro, en el que le llegan fuertes rachas de viento y a su vez está situado en un terreno en el que el nivel freático es alto.

En un nivel medio de riesgo se localizan parques situados más en el centro de la ciudad y que por su cercanía a avenidas conductoras de cierzo reciben también con fuerza las inclemencias del aire, algunos ejemplos serían el parque de la Aljafería, el parque Bruil o la plaza Salamero.

En un nivel bajo, en la zona este de la ciudad, está el parque de Torre Ramona (Las Fuentes) en donde se sitúa más protegido por toda la ciudad.

Generalmente los días en los que está previsto que se produzcan rachas de viento superiores a 90km/h se activa la alerta naranja, y una de las actuaciones es el cierre de los parques de Zaragoza que se contempla dentro del Plan Municipal de Protección Civil. Un ejemplo fue el 20/3/18 cuando se procedió a cerrar hasta ocho parques de Zaragoza para prevenir posibles accidentes por caídas de árboles y ramas. Los parques clausurados y con vigilancia policial para evitar la entrada de personas fueron: los parques de Macanaz, Labordeta, Pignatelli, Bruil, Palomar, Tío Jorge y Delicias. También se clausuró la entrada a la plaza de los Sitios que no es un parque pero entra en Grandes plazas arboladas o ajardinadas por el número de árboles que posee y que tienen el mismo riesgo que un parque.

El 13 de agosto de 2018 se decidió por parte del consistorio municipal zaragozano, cerrar durante cinco días el parque del Tío Jorge, ya que tras una tormenta el día anterior, con rachas de viento de más de 115 km/h, produjo la caída de una treintena de árboles en el parque. Esta situación llevó al ayuntamiento a tomar esta medida "para realizar una inspección completa de todo el arbolado y garantizar las condiciones de seguridad".

Los cierres de los parques a la ciudadanía se debe a la gran cantidad de árboles caídos por el cierzo, el riesgo es enorme, ya que muchos árboles se encuentran inclinados y a punto de caerse, y en días de más de 60 km/h de rachas máximas de viento no es seguro pasear por estos sitios.

Un suceso histórico fue el de la Cincomarzada de 2006, en el que la caída en el parque del Tío Jorge de una enorme rama de acacia arrancada por el fuerte cierzo de 90 km/h provocó cuatro decenas de heridos con diversas fracturas, entre ellos estaba el alcalde por entonces de la ciudad, Juan Alberto Belloch y sus concejales que también sufrieron heridas obligando a suspender el evento. Antes de esto se había caído un chopo en ese mismo parque causándole heridas a un niño.

6.4 Edificios

Las construcciones sometidas a la acción de vientos fuertes pueden sufrir daños totales o parciales.

En Zaragoza, por la acción del cierzo se pueden dar situaciones de que por su fuerza se puede romper la vía de carga de un edificio o abrir un hueco en el techo del edificio así como causar las ventanas se rompan.

También es común que en edificios antiguos, las tejas de los techos caigan a la calle poniendo en riesgo a los peatones o que estos edificios se puedan ver afectados por árboles caídos o ramas que han impactado sobre ellos.

Se puede establecer una lista de los efectos más comunes del viento sobre las construcciones en Zaragoza: deformabilidad excesiva, pérdida de estabilidad, fatiga, rotura de elementos estructurales, rotura de elementos no estructurales, voladura de techos, efecto sobre peatones.

Estas situaciones se pueden dar tanto en grandes avenidas en el que el cierzo circula a gran velocidad por ellas, como en el propio centro de Zaragoza, en el que se encuentran los edificios más antiguos de la ciudad y los tejados de estos edificios al estar deteriorados, no aguantan la acción del cierzo produciendo caídas de tejas. Algunas de las calles en las que se sitúan los edificios con más riesgo, se encuentran en el barrio Jesús, Casco histórico, Torrero y la Magdalena.



Figura 17. En esta imagen se ve la caída de parte del tejado en la Calle de la Luz en el barrio de Romareda el 3/5/18.

Fuente: El Periódico de Aragón



Figura 18. Esta otra imagen pertenece al suceso ocurrido el 13/2/17 en el que se varios cascotes del recubrimiento de la torre de la Seo, cayeron al suelo desde 40 metros de altura sin causar heridos, su origen se dijo que provenía de la humedad, el viento y las inclemencias del tiempo. Fuente: Heraldo de Aragón

6.5 Sucesos en la periferia de Zaragoza

En el campo de maniobras de San Gregorio, que está situado en las proximidades de Zaragoza, en dirección Huesca, y se caracteriza por el adiestramiento militar en la realización de ejercicios tácticos y de tiro del ejército, tuvo un desafortunado accidente en el que una decena de militares paracaidistas, resultaron heridos por las rachas de viento, los hechos se produjeron la mañana del 12 de junio de 2018.

Este terreno, perfecto para la maniobras y el ensayo de los militares paracaidistas, es también un lugar idóneo para que soplen fuertes rachas de viento, según los datos de AEMET se contaba con unas rachas de viento de unos 60 km/h, pero finalmente hubo un cambio brusco en la velocidad del viento en altura que ocasionó la cizalladura vertical y esta velocidad aumentó considerablemente produciendo el accidente de los paracaidistas.

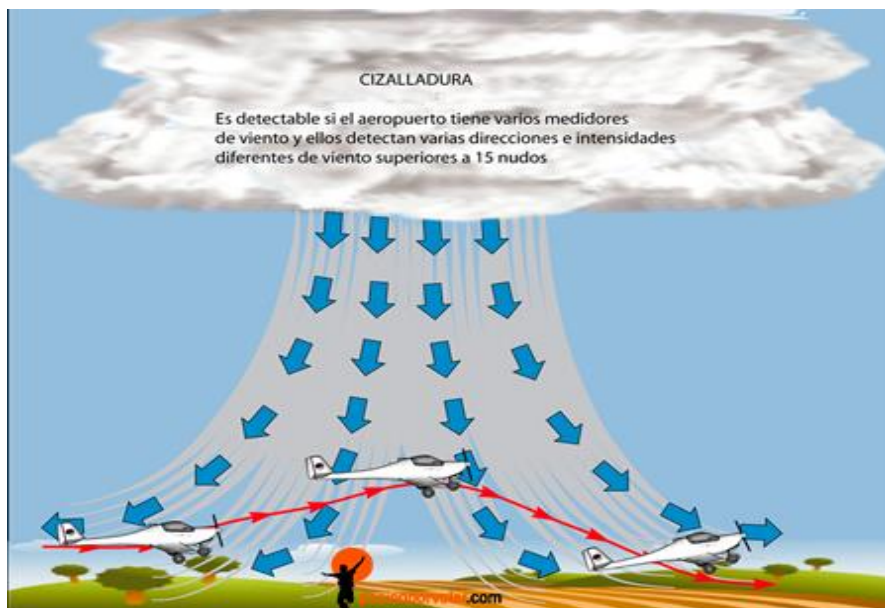


Figura 19. Cizalladura vertical. www.pasionporvolar.com

6.6 Relación de siniestros ocurridos con las zonas de riesgo por Cierzo en Zaragoza

RELACIÓN DE RIESGOS Y SINIESTROS

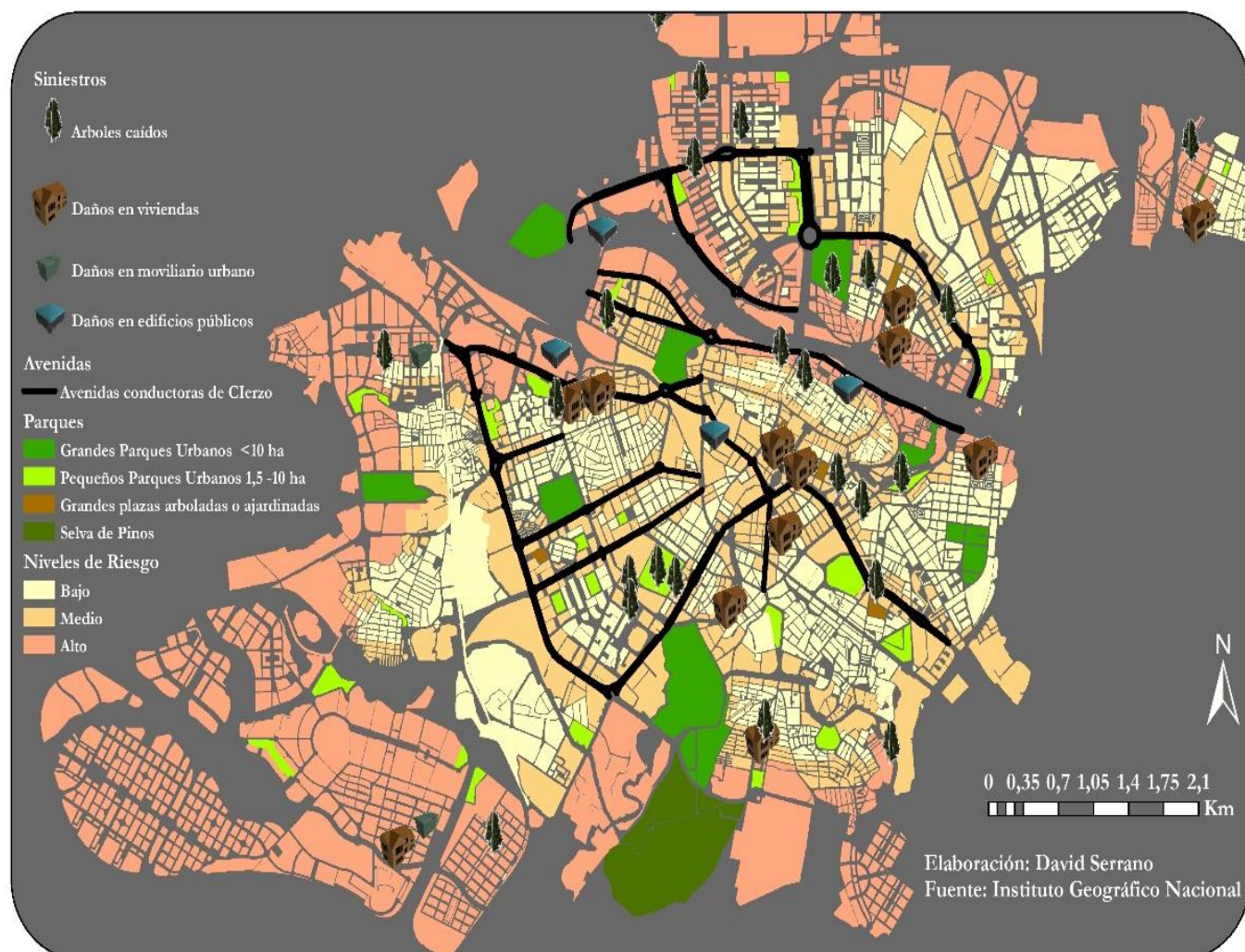


Figura 20. Relación de siniestros ocurridos con las zonas de riesgo por cierzo en Zaragoza.

7. CONCLUSIÓN

Los resultados del análisis temporal indican que el viento cierzo puede aparecer en Zaragoza a lo largo de todo el año, si bien es cierto que las épocas con más probabilidad de días de fuerte viento son a final de invierno y el comienzo de la primavera, debido a que es más fácil que se de la situación atmosférica que origina el cierzo.

El umbral de riesgo está fijado en 60 km/h, umbral que ya utilizó López (1996) y que se aplica en Planes de Emergencia de la ciudad, Planificación Urbana o seguros. En este umbral empiezan a verse las primeras incidencias leves como roturas de ramas, pero es a partir de rachas de 80 Km/h cuando empiezan a ocurrir las incidencias graves, como caídas de árboles, incidencias en el mobiliario urbano o daños en edificios.

En el estudio zonal de la ciudad muestra como los barrios que por su localización geográfica se encuentran más expuestos a los vientos de componente noroeste y por tanto más vulnerables, son los situados en la zona oeste de la ciudad. Zonas como Valdespartera, Montecanal, Miralbueno, Delicias, Almozara o Actur son lugares de entrada del cierzo a la ciudad y en los que al no encontrar ningún obstáculo es donde más velocidad de racha máxima alcanza. También Torrero, situado al sur, lo consideramos barrio vulnerable debido a la altitud que posee. Por el contrario consideramos barrios menos vulnerables los localizados en la parte centro o este de la ciudad como el barrio de Las Fuentes o San José ya que se encuentran más al abrigo por parte del resto de la ciudad por sus localización.

En el estudio del entramado urbano registramos varias avenidas en las que se produce el efecto túnel, que gracias a su morfología, su localización y su dirección, se conviertan en perfectas conductoras del viento cierzo, registrándose grandes rachas de viento en ellas. Estas no tienen por qué situarse en una zona específica y se sitúan en diferentes puntos de la ciudad, Avenida Navarra, Marques de la Cadena o Cesario Alierta serían algunos ejemplos de avenidas en los que en días de cierzo se registran incidencias frecuentemente.

La caída y deterioro de la arboleda de Zaragoza supone el riesgo principal cuando hay cierzo. Esto se produce debido a diversos factores como la capacidad de aguante al cierzo de cada especie, podas de árboles que se hacen cada siete años, árboles situados en avenidas con efecto túnel que favorecen la caída, fuertes tormentas de lluvia y viento, aumento del nivel freático por el Ebro etc, por lo tanto Zaragoza con todos estos factores es una ciudad en la que con más de un millar de árboles en riesgo de caída, con los numerosos parques y zonas verdes que hay y con el riesgo añadido del cierzo, debería replantearse algunas cosas para evitar que cada vez que haya situaciones de cierzo o

tormentas, al día siguiente haya una treintena de árboles en el suelo. Algunas soluciones como sustituir árboles existentes con especies que aguantaran mejor el fuerte viento, revisar la especie de arbolado existente en alguna calle o avenida en la que están a merced del cierzo, o reducir el tiempo de poda que es ahora mismo cada siete años, minimizarían en gran medida las incidencias.

Para finalizar, decir que este trabajo es una continuación actualizada a los estudios anteriores sobre el conocimiento y las consecuencias del viento cierzo en Zaragoza por López (1996) y que la continuación de este trabajo sea una investigación por medio de análisis más complejos y más detallados que permita una minimización de los riesgos y de los efectos negativos del cierzo en la ciudad de Zaragoza mediante políticas y planes de actuación efectivos.

8. BIBLIOGRAFIA

- Aneas de Castro, Susana., (2000) Riesgos y peligros: Una visión desde la Geografía. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Nº 60
- Ayala, J; Olcina, J., (2002) Riesgos Naturales. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Ayuntamiento de Zaragoza (2006) Plan Municipal de Protección Civil. Plan Específico para Riesgos Meteorológicos. 88-105
- Biel Lucea, A., (1952). El viento en Zaragoza. Servicio Meteorológico Nacional Serie D nº 12. 62 pág.
- Brudi, E., (2001) Estática de los árboles. Conferencia sobre biomecánica de la ISA
- Calvo García-Tornel, F., (1984) La geografía de los Riesgos, GEO Crítica nº 54. 39 pág
- Calvo García-Tornel, F., (2001) Sociedades y territorios en riesgo, Ediciones del Serbal. Colección "La Estrella Polar" nº 31 Barcelona. 186 pág
- Castro, A., Sánchez, J, L., (1990) Estudio del viento troposférico en el Valle Medio del Ebro en días con actividad tormentosa. Bol. San. Veg. Plagas, 16: 487-497
- Cuadrat, J.M., (1999). El clima de Aragón. CAI-100. Zaragoza, 109 pág
- Cuadrat, J. M., Saz, M. Á., Serrano, R., & Tejedor, E. (2015). Patrones temporales y espaciales de la temperatura urbana de Zaragoza. Clima urbano y calidad ambiental de la ciudad de Zaragoza, 10, 18 pág
- Cuadrat, J.M., De La Riva, J, López Martin, F., Marti, A. (1993) El medio ambiente urbano de Zaragoza. Observaciones sobre la "isla de calor". Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 13. Madrid
- Dorta, P., (2007) Catalogo de riesgos climáticos en Canarias. Departamento de Geografía Universidad La Laguna. Geographicalia, 51, 133-160
- Hernández, M.L., (1990). Frecuencia e intensidad del viento en Zaragoza. Geographicalia, 27: 63-75
- Morales, Carlos., Ortega, M^a Teresa., (2004) Riesgos climáticos en Castilla y León: Análisis de su peligrosidad. Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid
- López-Martín, F., (1996). Riesgos climáticos en la ciudad de Zaragoza. Geographicalia, 33: 1-11.
- Olcina, J., La investigación sobre riesgos climáticos en España: retos de futuro. La climatología española. Pasado, presente y futuro, 392-419
- Olcina, J., (1994) Riesgos climáticos en la península Ibérica, Penthalon, 440 pág
- Olcina, J., (2006) ¿Riesgos naturales? Documentos. Anales. Geografía. 48, 221 pág.

Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M.; Moltó Mantero, Enrique (eds.). (2016) Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante; Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº 10, 483-645

Piserra, M^a Teresa; Del Río, Javier (1994) Estudio sobre la peligrosidad de del fenómeno de vientos fuertes en España. Informes de la Construcción, Vol 45, nº 430

White, G. F. (1975) La investigación de los riesgos naturales; en CHORLEY, R. J. Nuevas tendencias en geografía. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.

