

Máster Universitario en Ciencias Actuariales y Financieras

2024-2025

Trabajo Fin de Máster

“Seguro paramétrico de fallecimiento por ola de calor”

Victor de Benito Arranz

Tutor

Raquel Pérez Calderón

Madrid, 2025



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El cambio climático está provocando un aumento de la temperatura media. Esto provoca el aumento en la gravedad y/o duración de las olas de calor, causando una mayor tasa de mortalidad. A su vez, el seguro tradicional no es capaz de cubrir ese riesgo. Por ello, se pretende elaborar un seguro paramétrico que cubra el riesgo de mortalidad asociado a olas de calor. Para su consecución, se empleará un modelo estocástico que permita estimar la probabilidad de ola de calor a la vez que se analiza su impacto en la mortalidad.

Palabras clave: Seguros paramétricos, ola de calor, seguros de vida.

ABSTRACT

Climate change is causing an increase in the average temperatures. This increases the severity and/or duration of heat waves, resulting in higher mortality rates. In turn, traditional insurance is unable to cover this risk. Therefore, the goal is to develop a parametric insurance policy that covers the mortality risk associated with heat waves. To achieve this, a stochastic model will be used to estimate the probability of a heat wave while analyzing its impact on mortality.

Key words: Parametric insurance, heat waves, life insurance

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1. Definición y características de los seguros paramétricos	3
2.2. Diseño del seguro paramétrico	4
2.3. Comparación de los seguros paramétricos con los seguros tradicionales	5
2.4. Mortalidad y ola de calor.....	8
3. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA E HIPÓTESIS DE PARTIDA.....	11
3.1. Hipótesis de partida	11
3.2. Datos de temperatura	12
3.3. Datos de mortalidad.....	14
4. METODOLOGÍA.....	16
4.1. Probabilidad de ola de calor	16
4.2. Mortalidad	18
5. RESULTADOS.....	19
5.1. Modelo de temperatura.....	19
5.2. Mortalidad y primas del seguro	25
6. CONCLUSIONES.....	30
7. REFERENCIAS	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1. Datos históricos de temperatuma máxima. Periodo 2000-2024.....	12
Ilustración 3.2. Comparativa de olas de calor, para la serie histórica, con duraciones de 3,5 y 7 días.....	14
Ilustración 5.1. Valores de los coeficientes del modelo autorregresivo de orden 6	20
Ilustración 5.2. Función de autocorrelacion parcial de los residuos del modelo y su cuadrado.....	21
Ilustración 5.3. Evaluación de los residuos estandarizados del modelo.....	22
Ilustración 5.4. Componentes calculados en la serie histórica de temperatura máxima de 2000 a 2024.	23
Ilustración 5.5. Trayectoria de las 100 primeras simulaciones.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre los seguros paramétricos y los seguros tradicionales.....	7
Tabla 2. Datos descriptivos de la temperatura máxima del periodo 2000-2024.	13
Tabla 3. Olas de calor por umbral de temperatura y duración en la serie de temperaturas máximas 2000-2024.	13
Tabla 4. Tabla de mortalidad por sexo y edad de la población española en 2023.	15
Tabla 5. Valores de los coeficientes del componente estacional del modelo.....	19
Tabla 6. Comparativa de BIC y AIC para cada orden del modelo autorregresivo.....	19
Tabla 7. Parámetros de la volatilidad del modelo.	21
Tabla 8. Olas de calor, por duración y número, obtenidas del modelo.	24
Tabla 9. Tarificación del seguro por sexo, edad y número de personas.....	25

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas estamos inmersos en un cambio climático. Dicho cambio, se refleja en distintos parámetros meteorológicos, como en la temperatura media. El aumento global de dicha temperatura está provocando fenómenos meteorológicos extremos, aumentando su frecuencia y/o intensidad. Estos episodios adversos se manifiestan a través de grandes sequías, inundaciones u olas de frío y calor, entre otros.

Todo ello provoca grandes afecciones a las personas, desde muertes, agravamientos de salud o pérdidas económicas de diversa índole. Por ello, las finanzas, y particularmente el seguro, debe proveer de los mecanismos necesarios para compensar las consecuencias económicas.

El seguro históricamente ha sido una gran fuente de cobertura y transferencia de riesgos, que ha permitido el desarrollo económico mundial. Sin embargo, adolece de ciertos problemas, como la selección adversa o el riesgo moral, que provocan que parte de los riesgos no se cubran. Además, debido a su estructura, el pago de la indemnización se puede retrasar, debido a peritajes, tramitaciones e interpretaciones contractuales, provocando una pérdida de eficiencia en la cobertura del riesgo.

El sector, en busca de nuevos productos que permitan superar estas dificultades y adaptarse a los eventos extremos, ha creado los seguros paramétricos. Estos seguros se basan en el pago de una indemnización cuando un índice traspasa un umbral. Con esta metodología, se eliminan gran parte de los inconvenientes del seguro tradicional. Además, se adaptan perfectamente a los eventos climáticos, ya que estos están basados en variables meteorológicas.

Actualmente, dichos seguros se aplican en múltiples ámbitos, como en catástrofes o daños agrícolas. No obstante, los seguros existentes se han aplicado únicamente a seguros de daños, dejando de lado los seguros sobre las personas (vida). Por lo tanto, existe una oportunidad de poder ampliar la cobertura de estos seguros, que proteja a las personas o los sistemas sanitarios, a la vez que se amplie el mercado asegurador y se reduzca la brecha de protección del seguro.

Así, este trabajo persigue crear un producto de seguro paramétrico de fallecimiento por ola de calor, de tal forma que este seguro pague una cuantía cuando una persona muera durante la ola de calor. Para ello, será necesario implementar un modelo que permita

estimar la ocurrencia de olas de calor. Asimismo, se debe estudiar la correlación entre mortalidad y ola de calor, así como concretar el aumento de mortalidad en olas de calor.

Con este fin, en el segundo apartado se muestra el marco teórico de los seguros paramétricos, complementado con la revisión de la literatura existente de mortalidad y ola de calor, su relación y factores amplificadores o reductores. En el siguiente apartado, se describen y muestran los datos de temperaturas y mortalidad empleados en el desarrollo del seguro, el cual se explica en el apartado cuarto. Por último, en el quinto capítulo se evalúan los resultados obtenidos del modelo, creando una cartera ficticia y tarificando sobre la misma.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SEGUROS PARAMÉTRICOS

De acuerdo a los datos de Swiss Re (2022), las catástrofes naturales en 2021 provocaron una pérdida de 270 mil millones de USD, de los cuales solo 111 se encontraban asegurados. Esto supone que, aproximadamente, el 60% de estos riesgos no se encontraba asegurados. Por otra parte, en las últimas décadas han surgido distintos eventos que han puesto en jaque al sistema económico y sus cadenas de suministro, añadiendo complejidad en la gestión de riesgos. En consecuencia, los gestores de riesgos demandan una cobertura aseguradora que el seguro tradicional no puede cubrir, donde los seguros paramétricos se han posicionado como una posible solución (AON, 2024).

Los seguros paramétricos se pueden definir como un tipo de seguro que paga una cantidad prefijada siempre y cuando ocurra un evento predefinido (*trigger event*). El seguro ha de estar basado en un parámetro y/o índice externo que presente alta correlación con el evento a asegurar (Ocampo & Moreira, 2024; Villabona & Pérez, 2023).

De la definición anterior, se pueden obtener distintos componentes del contrato de seguro. Así, el *trigger event* o evento predefinido es aquel suceso que, una vez ocurrido, dará lugar a la indemnización pactada. No obstante, este evento ha de contar con distintas características (Sengupta & Kousky, 2020; Swiss Re, 2024):

- a. Ha de ser fortuito.
- b. Se puede modelar, para crear un parámetro o índice que indique, de forma objetiva, que el evento ha sucedido. AON (2024) establece que es necesario contar datos históricos suficientes para ello.
- c. Es evaluado y reportado de forma independiente y confiable. Es decir, el evento se define a partir del suministro de información de una parte externa y confiable, generalmente a través de índices y/o parámetros.

Por otra parte, una vez que el evento ha sucedido, pueden existir distintas formas de pago. Así, se denomina seguro puro o binario a aquel seguro paramétrico que paga una cantidad fija en función de que el parámetro o índice supere o no una determinada cantidad, llamada umbral (Lin & Kwon, 2020). Igualmente, aquellos seguros cuyos pagos dependen de modelos se nombran como seguros paramétricos indexados o escalonados (Bhardwaj, 2020)

Dentro de esta última categoría, existen distintos subtipos, en función de cómo se calculen los pagos y su relación con el índice. Tenemos seguros proporcionales, donde el pago es proporcional al índice, seguros incrementales, si se definen distintos tramos de pago, en función de los valores del índice y seguros por capas, donde en cada capa se define el umbral de pago así como su importe (Ocampo & Moreira, 2024).

2.2. DISEÑO DEL SEGURO PARAMÉTRICO

Una vez expuestas las características del seguro paramétrico, es necesario establecer el marco teórico que permita crear un seguro paramétrico. Para ello, hay que considerar distintas variables necesarias, así como las características que deben cumplir. Swiss Re (2024) considera que es necesario detallar y concretar las siguientes variables para el correcto diseño del seguro:

- Parámetro. Se refiere al índice o parámetro que se va a usar para determinar el pago.
- Estructura del seguro. Es decir, si la pérdida asegurada tiene una elevada correlación con el índice o parámetro utilizado.
- Origen de los datos. Los datos deben ser objetivos, independientes y consistentes. Se debe proporcionar por una tercera parte, generalmente gubernamental.
- Modelado de datos. Es necesario realizar un análisis de los datos históricos así como simulaciones de los posibles futuros eventos.

Un buen diseño de la póliza permite minimizar el riesgo base (Bonazzi et al., 2024). Se entiende por riesgo base a aquella situación en donde el pago del seguro no cubre completamente la pérdida producida (Sengupta & Kousky, 2020). Este no es un fenómeno único de los seguros paramétricos, ya que, la aplicación de franquicias, límites y/o exclusiones lo provocan. No obstante, en los seguros paramétricos puede ser mayor que en los seguros tradicionales (AON, 2024), afectando significativamente a su eficacia y fiabilidad (Viergutz, 2024).

Dentro del riesgo base, se pueden dar dos tipologías. La primera se denomina riesgo base positivo y aparece cuando la aseguradora paga siniestros que no han producido daño al interés asegurado o cuando este es superior a dicho interés. Por tanto, se dará una tarificación insuficiente de los riesgos, que puede provocar una insuficiencia en las primas cobradas, llevando a la compañía aseguradora a la quiebra (Lin & Kwon, 2020).

La segunda se denomina riesgo base negativo. Surge cuando el asegurado sufre la pérdida económica, pero la cobertura del seguro no se aplica o es insuficiente para cubrirla. Esto puede deberse a que el evento no ha superado el umbral establecido o que la pérdida pactada sea menor que la real (Bonazzi et al., 2024). Si esto se produce, provoca insatisfacción en los clientes, decrecimiento de las tasas de renovación así como un aumento en el riesgo reputacional del asegurador (Lin & Kwon, 2020).

Estos riesgos están influidos por distintos factores, entre los que destaca (Ocampo & Moreira, 2024; Viergutz, 2024):

- Calidad de los datos. Datos insuficientes o imprecisos pueden provocar que el pago esperado no se correlacione correctamente con la pérdida, incrementando el riesgo base.
- Área geográfica. Si el área analizada es suficientemente amplia o estrecha, puede afectar a la relación con el área de cobertura, ya sea de forma geográfica, o a través del valor de los bienes allí situados.
- Precisión del modelo. Un modelo muy complejo o desactualizado puede aumentar el riesgo base.
- Condiciones del seguro. Limites, franquicias y otras formas de diseño del seguro pueden afectar a la indemnización abonada, afectando al riesgo base del producto.
- Marco temporal. Un desajuste entre el tiempo usado en el modelo y el momento temporal de la ocurrencia del suceso asegurado puede provocar una elevación del riesgo base. Además, las variaciones estacionales pueden contribuir a ello.

Para solucionarlo, AON (2024) propone que es necesario realizar una revisión pasada de eventos similares. Dicha revisión consiste en determinar en cuantos eventos pasados el seguro hubiera abonado la indemnización. Con ello, se demostraría la adecuación del umbral establecido así como del pago acordado.

2.3. COMPARACIÓN DE LOS SEGUROS PARAMÉTRICOS CON LOS SEGUROS TRADICIONALES

Los seguros paramétricos son una alternativa a distintos eventos que no tendrían cobertura con los seguros tradicionales que se ofertan en el mercado. Dado su carácter complementario, es necesario realizar una comparación que permita discernir cuando ha de imperar uno u otro, en función de las características de ambos.

El seguro tradicional se ha basado en el principio indemnizatorio del daño, de tal forma que compensaba únicamente el daño efectivamente producido a un bien o activo. Sin embargo, el seguro paramétrico paga en el momento que el índice o parámetro supera el umbral establecido, independientemente de si el asegurado ha sufrido el daño.

Esto plantea sucesivas ventajas, ya que elimina los procesos de tramitación del siniestro (desde el peritaje hasta la tramitación administrativa), eliminando una parte importante del coste de la aseguradora, provocando una gran reducción en los plazos de abono y, en ciertos casos, reduciendo la prima (Villabona & Pérez, 2023).

No obstante, en algunas legislaciones se recoge la prohibición de que un seguro abone una cuantía superior al daño efectivamente producido (principio indemnizatorio del daño)¹. Por ello, se plantea si el seguro paramétrico cumple o no dicho principio. AON (2024) y Muñoz Paredes (2023) consideran que debido al estudio del evento, su probabilidad y la capacidad de producir daños, por parte de la aseguradora, queda acreditado el daño al asegurado, y por tanto, un enriquecimiento justificado, compatible con dicha prohibición.

Otra de las diferencias existentes radica en la flexibilidad. Así, el seguro tradicional parte de unos condicionados generales básicos, los cuales son personalizados en ciertos parámetros para adecuarse a los requerimientos y necesidades del cliente. Sin embargo, en los seguros paramétricos es necesario definir índice o parámetro, así como el umbral de pago, por lo que permite adaptarse a los requerimientos y necesidades del cliente (Bonazzi et al., 2024).

Por otra parte, el seguro tradicional adolece de problemas en la información, de tal forma que se producen asimetrías. Una de ellas es la selección adversa, que se origina cuando las primas no pueden reflejar la heterogeneidad de los riesgos. Por ello, la aseguradora puede estar obligada a elevar las primas, desincentivando la cobertura del seguro en los riesgos más bajos (Bardey, 2008).

Otra asimetría en el seguro tradicional es el riesgo moral. Esta tiene lugar cuando los aseguradores se encuentran desmotivados a la prevención del riesgo, ya que obtienen el mismo nivel de riqueza. En consecuencia, se ven perjudicados al no poder aplicarse una bonificación por comportamientos preventivos (Bardey, 2008).

¹ En España, dicha prohibición se encuentra recogida en el artículo veintiséis de la ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro.

Sin embargo, como afirma Lin & Kwon (2020), en los seguros paramétricos el pago se realiza en función de la probabilidad de ocurrencia calculada, que se obtiene por una fuente externa y fiable. Asimismo, el pago está predeterminado, lo que no existen incentivos para modificar la conducta del asegurado. Como resultado, en el seguro paramétrico estos riesgos toman un papel insignificante. Por el contrario, en los seguros paramétricos surge el riesgo de base, que se ha comentado anteriormente.

En la Tabla 1 se recoge la comparativa anteriormente expuesta, así como otras características menos importantes.

Tabla 1. Comparativa entre los seguros paramétricos y los seguros tradicionales

	SEGUROS TRADICIONALES	SEGUROS PARAMÉTRICOS
RIESGOS CUBIERTOS	Riesgos típicamente asegurables	Riesgos fortuitos y no especulativos
DISEÑO DEL SEGURO	Condiciones estándar con ciertas personalizaciones	A medida, en función del riesgo y las necesidades del cliente
MOMENTO DEL ABONO	Tras determinar y comprobar el daño producido	Cuando se confirma la superación del umbral determinado
OBLIGACIÓN DEL ASEGURADOR	Reparar, sustituir o abonar el daño efectivamente producido	Pagar la cantidad pactada
PERIODO DE COBERTURA	Anual, comúnmente	Estacional, aunque se admite duración anual o plurianual
INVESTIGACION Y GESTIÓN DEL SINIESTRO	Basado en la pérdida sufrida y con intervención de personal especializado	No requiere investigación. La gestión es rápida y transparente
TRANSPARENCIA DE LA PÓLIZA	Baja	Alta

SELECCIÓN ADVERSA Y RIESGO MORAL	Media o Alta	Baja
RIESGO BASE	Bajo, debido a las condiciones contractuales, como exclusiones y límites.	Alta, debido a la necesidad de correlación del modelo con la pérdida
REGULACIÓN LEGAL	Regulado en la gran mayoría de países	No regulado expresamente. Sujeto a interpretación de las leyes locales.

Fuente: elaboración propia a partir de Lin & Kwon (2020) y Swiss Re (2024).

2.4. MORTALIDAD Y OLA DE CALOR

Previamente, se establecía el requisito de que cualquier evento cubierto por el seguro paramétrico tuviera relación con el daño causado. Por ello, es necesario recopilar y analizar la abundante literatura existente que relaciona la mortalidad con el exceso de temperatura, y por ende, con una ola de calor. Así, desde la ciencia médica se ha estudiado los efectos que provoca un exceso de temperatura.

La temperatura normal promedio es de 37 °C, aunque puede oscilar en función de la persona y sus características (Vorvick, 2023). Una exposición elevada a altas temperaturas puede provocar un aumento de la temperatura corporal. En los casos más leves o moderados, se produce un agotamiento por calor. En casos más graves, cuando la temperatura corporal supera los 40 °C, se produce un golpe de calor que puede derivar en una disfunción orgánica que cause la muerte (Bouchama & Knochel, 2002).

Respecto al efecto indirecto, se ha demostrado que, en presencia de olas de calor, se aumenta el estrés en los sistemas cardíacos y respiratorios. Esto provoca una mayor mortalidad en personas que tienen enfermedades previas relacionadas, independientemente de la gravedad de la preexistencia. Asimismo, en estudios de instituciones médicas se ha observado un aumento de la mortalidad durante episodios de ola de calor (Basu & Samet, 2002).

Ciertos estudios han cuantificado el exceso de mortalidad atribuible a las temperaturas extremas. Gasparrini et al. (2015) realizaron un estudio en distintos países en donde determinaban el porcentaje de mortalidad debido a olas de calor, así como el umbral

mínimo a partir del cual existía un exceso de mortalidad atribuible. En el caso de España, se determinaba que el percentil 78 de las temperaturas máximas históricas, provocaban un aumento de la mortalidad atribuible a las temperaturas. Igualmente, se reportaba un 6% de mortalidad por ola de calor, lo cual es coincidente con Carmona Alférez et al. (2015).

Por otra parte, existen factores que pueden amplificar y/o reducir el riesgo de mortalidad por ola de calor. Uno de ellos es la ubicación de cada persona y el entorno en el que resida. Así, se ha demostrado que, en un mismo país, puede haber distinto riesgo de mortalidad por ola de calor. Un ejemplo es Corea del sur, donde se ha determinado que existe una mayor mortalidad en zonas rurales que en zonas urbanas, debido fundamentalmente a la estructura de población y ausencia de infraestructura que ayudara a mitigar sus efectos (Kang et al., 2020).

En contraposición, Ruuhela et al. (2021) encontraron que, para el caso de Helsinki, la mortalidad era mayor en la ciudad de Helsinki que en el área metropolitana y rural de esa región. Esto se debe al efecto de isla de calor urbana, por el cual las temperaturas son más elevadas en las ciudades, debido a los materiales de construcción y el urbanismo de las mismas.

Para el caso de España, Paredes-Fortuny et al. (2024) concluyeron que el riesgo de mortalidad por ola de calor era mayor en ciudades donde existía una menor frecuencia de olas de calor. Estas ciudades, salvo Badajoz, compartían una ubicación costera. Asimismo, presumían que, como su frecuencia era menor, estaban menos preparadas para afrontar las olas de calor, con menor conciencia en la población y aclimatamiento, que otras ciudades con mayor frecuencia.

Existen además otros factores sociales que pueden afectar a la mortalidad. Kovats & Hajat (2008) enumera una serie de factores, como el aislamiento de las casas, la existencia de aires acondicionados domésticos, o el nivel socioeconómico de la persona. Todos ellos, si se encuentran en una situación precaria, pueden aumentar la mortalidad y/o el impacto en la salud durante olas de calor.

No obstante, las administraciones públicas, conscientes del daño provocado por las olas de calor, elaboran distintos planes sanitarios para reducir y prevenir las muertes por calor (Ministerio de Sanidad, 2024). Dichos planes se han demostrado efectivos para reducir la

mortalidad, aunque, para en el caso de España, la reducción varía desde el -2,28% hasta el -0,01%, dependiendo de la región analizada (Martínez-Solanas & Basagaña, 2019).

3. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA E HIPÓTESIS DE PARTIDA.

3.1. HIPÓTESIS DE PARTIDA

A efectos de tarificación, se debe determinar ciertos supuestos en el seguro. Particularmente, es necesario establecer qué se entiende por ola de calor, ya que no hay una definición única para ello.

Según la Organización Meteorológica Mundial (s. f.), una ola de calor es un periodo donde un exceso de calor local se acumula a lo largo de una secuencia de días inusualmente calurosos. Similarmente, Chiabai (2020) las define como “un periodo excesivamente cálido, caracterizado por temperaturas anormalmente altas, y que se mantienen durante varios días”. En ambas definiciones se aprecia un carácter cualitativo, donde no se explica cómo se pueden determinar los días inusualmente calurosos o las temperaturas anormalmente altas.

Según la literatura, las olas de calor se han definido en función de sus características medidas, como intensidad, frecuencia o duración entre otras (Perkins, 2015). Aun así, la mayoría de literatura considera que una ola de calor debe tener una medida de temperatura y un número mínimo de días en los que se supera el umbral, el cual es definido a través de los valores de cola de dicha temperatura o como percentiles (Perkins, 2015).

Las agencias gubernamentales de meteorología han aplicado el criterio anterior para definir sus alertas. Así, el Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco (s. f.) lo define como “un período continuo en el que la temperatura más alta del día es de al menos 25,0 °C durante al menos cinco días consecutivos”. Similar definición establece el Sistema nacional de emergencias de Uruguay (s. f.), que la define como un periodo con “al menos durante tres días con mínimas entre 21/25 °C y máximas entre 34/41 °C”.

En España, la agencia gubernamental ha considerado adecuado establecerla de una forma mucho más cuantitativa, definiéndola como “un episodio de al menos tres días consecutivos, en que como mínimo el 10 % de las estaciones consideradas registran máximas por encima del percentil del 95 % de su serie de temperaturas máximas diarias de los meses de julio y agosto del periodo 1971-2000” (AEMET, 2024).

Partiendo de la definición anterior, y realizando ciertas simplificaciones, se ha considerado adecuado definir ola de calor como una sucesión de tres o más días seguidos, producidos en los meses de junio, Julio y agosto, donde la temperatura registrada supera

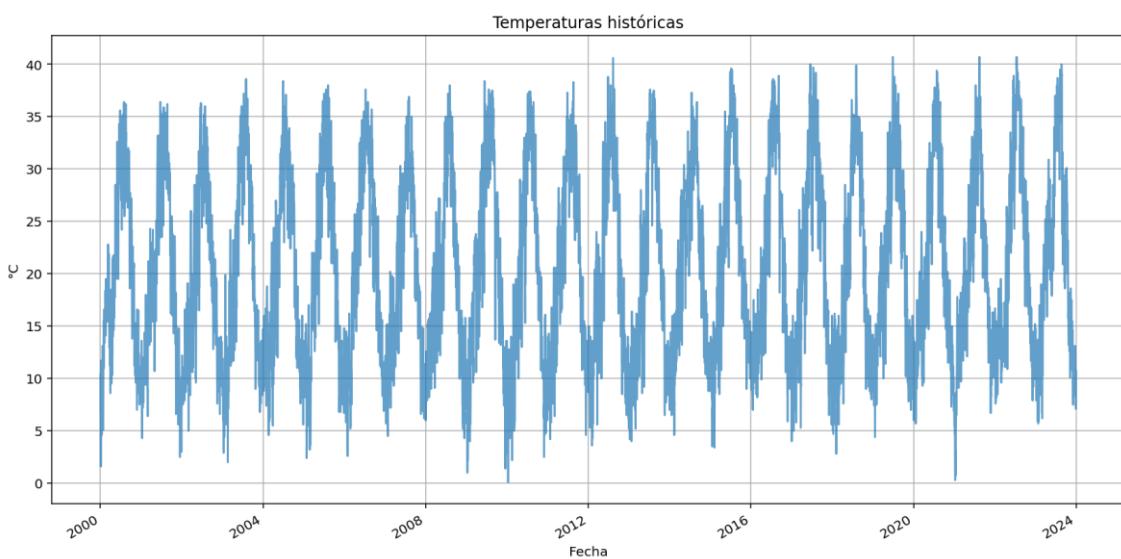
el percentil 95 de la serie de temperaturas máximas diarias en el periodo comprendido entre 1971 y 2000.

3.2.DATOS DE TEMPERATURA

Para determinar la probabilidad de ola de calor, se ha empleado los datos disponibles en AEMET OpenData. Para lo cual, se ha procedido a crear un programa, recogido en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, a través del lenguaje de programación Python. Dicho programa se basa en la plantilla proporcionada por la herramienta AEMET Codegen, a la que se ha modificado para introducir los parámetros deseados. Los datos se reciben en un archivo de extensión .json, que es tratado y guardado para su correcta lectura.

Concretamente, se ha descargado los datos de temperatura máxima diaria, de la estación meteorológica de Madrid Retiro, con código 3195. El periodo temporal abarca desde el 1 de enero del 2000 hasta el 31 de diciembre de 2023, lo que suponen 8717 datos de temperatura. Dentro de esos datos, existen 14 días que no se encuentran disponibles, por lo que se han completado con las temperaturas registradas en el día previo. Así, en la Ilustración 3.1 se han graficado los datos obtenidos, mientras en la Tabla 2 se han mostrado distintas variables estadísticas.

Ilustración 3.1. Datos históricos de temperatura máxima. Periodo 2000-2024.



Fuente: Elaboración propia a partir de AEMET (2024)

Como se puede observar, existe un patrón anual oscilante, coincidente con los distintos periodos estacionales, cuya temperatura máxima es de 40,7 °C y mínima de 0,1 °C. La temperatura media se sitúa en 20 °C aproximadamente, pero una desviación elevada, lo

cual se ve reflejado en el rango intercuartílico (15°C). Asimismo, dependiendo de la temperatura establecida, hay una gran variación del número de días que se supera dicha temperatura. Por ejemplo, si pasamos de 33,5 °C a 34 °C, el número de días superiores a esas temperaturas se reduce en un 12%, lo que indica una gran sensibilidad a la temperatura establecida, y por ende, al umbral de ola de calor.

Tabla 2. Datos descriptivos de la temperatura máxima del periodo 2000-2024.

Media	20,68 °C	Desviación estándar	8,92745
Máximo	40,7 °C	Percentil 25	13 °C
Mínimo	0,1 °C	Percentil 75	28,4 °C
Días >33,5 °C	868	Días >34 °C	758

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se detalla la duración, en días, de una ola de calor, para cada temperatura umbral. En ella, se aprecia que con temperaturas de hasta 32 °C, el número de días de cada duración se mantiene casi constante. A partir de ella, para una misma duración, el número de días se reduce notablemente. Considerando la misma temperatura umbral, se observa que, para cada temperatura, un aumento en la duración implica una reducción en el número de días registrado.

Tabla 3. Olas de calor por umbral de temperatura y duración en la serie de temperaturas máximas 2000-2024.

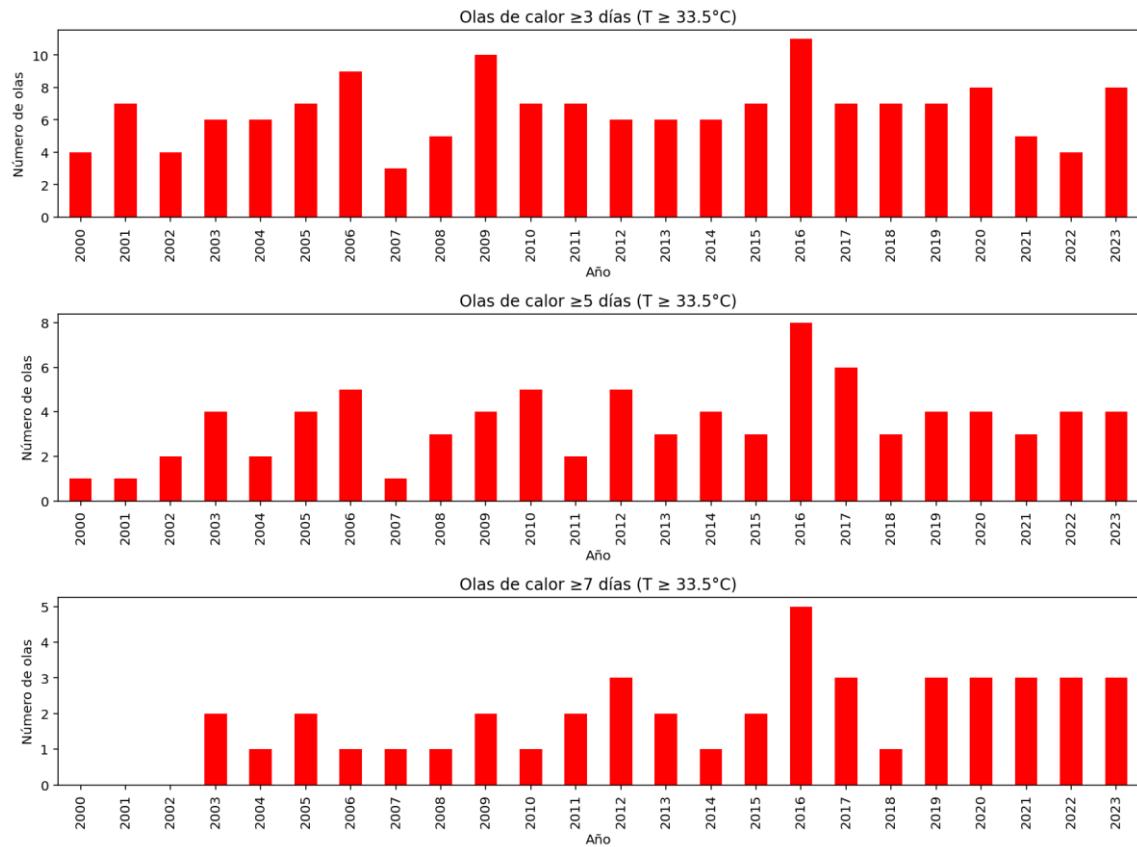
Umbral (°C) \ Duración (días) de olas de calor	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30	196	163	137	108	84	78	68	55	47	42	39
31	195	156	123	95	80	74	57	50	43	36	35
32	194	147	117	92	84	69	45	38	34	30	23
33	174	121	94	84	67	45	31	24	19	15	12
33,5	157	117	85	68	45	33	22	18	16	12	8
34	138	107	81	57	39	27	18	15	12	10	7
35	113	70	49	33	20	17	9	6	4	4	3
36	71	43	26	15	10	9	6	4	4	4	4

37	42	24	16	10	6	2	2	2	2	1	1
----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

Esto se aprecia notablemente en la Ilustración 3.2, donde se recogen las olas de calor historias con duraciones de 3, 5 y 7 días. En la duración más corta, existe una gran cantidad de olas de calor, llegando al 2016, donde se registraron hasta 10 olas de calor. Asimismo, en todos los años se ha producido más de una ola de calor con duración hasta 5 días.

Ilustración 3.2. Comparativa de olas de calor, para la serie histórica, con duraciones de 3,5 y 7 días.



Fuente: Elaboración propia a partir de AEMET (2024).

En consecuencia, podemos determinar que la ola de calor es sensible a la duración que se utilice, mientras que, según el umbral establecido, tendremos mayor o menor sensibilidad.

Por otra parte, se han descargado los datos históricos, para la misma estación y serie, desde el 1 de enero de 1971 hasta el 31 de diciembre del 2000. Con estos datos se calculará el umbral de temperatura que se establece en el seguro paramétrico.

3.3. DATOS DE MORTALIDAD

Para tarificar el fallecimiento, es necesario emplear las tasas de mortalidad. Dichas tasas se han obtenido del Instituto Nacional de Estadística (INE, s. f.), para la población española, desagregados por sexo y edad para el 2023. En la edad, se ha filtrado la tasa a partir de los 18 años. Todo ello se descarga en un fichero Excel, recogiéndose en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de mortalidad por sexo y edad de la población española en 2023.

EDAD	HOMBRES	MUJERES	EDAD	HOMBRES	MUJERES	EDAD	HOMBRES	MUJERES
18	0,258186	0,144218	46	1,563704	0,856644	74	25,484174	12,192888
19	0,302267	0,179197	47	1,607663	0,964385	75	28,876879	13,280518
20	0,355746	0,145153	48	1,851601	1,074473	76	30,340411	14,79374
21	0,385616	0,126263	49	2,049684	1,225439	77	34,485171	17,525433
22	0,366726	0,16096	50	2,398705	1,221665	78	37,443006	19,965316
23	0,378692	0,132093	51	2,74605	1,473408	79	42,181445	23,125707
24	0,427451	0,154044	52	2,891515	1,587148	80	46,748086	25,548974
25	0,434635	0,185451	53	3,367915	1,865463	81	49,928055	29,017213
26	0,351423	0,182457	54	3,920418	1,951902	82	58,439145	33,638222
27	0,441413	0,157716	55	4,356482	2,336673	83	67,641675	41,271152
28	0,431809	0,170908	56	4,958776	2,33332	84	74,615785	47,973107
29	0,440589	0,189306	57	5,435425	2,731702	85	85,952368	56,464704
30	0,497233	0,187334	58	6,230018	2,914876	86	95,984778	66,139948
31	0,513042	0,206543	59	6,467662	3,273212	87	106,887359	74,324533
32	0,546988	0,237779	60	7,386021	3,373943	88	121,837237	87,429963
33	0,576141	0,293349	61	8,03964	3,807484	89	140,250353	102,238677
34	0,596546	0,291281	62	8,932831	4,298668	90	160,766916	119,526506
35	0,688586	0,269787	63	9,637568	4,686997	91	179,914952	134,241543
36	0,578794	0,368138	64	10,697025	4,820762	92	203,281277	156,169668
37	0,778388	0,36146	65	11,64713	5,237203	93	226,025834	172,580217
38	0,814311	0,38804	66	12,198592	5,552516	94	249,630356	198,926662
39	0,760256	0,406259	67	14,016372	6,484095	95	277,717642	222,366398
40	0,95278	0,47577	68	14,961287	6,924542	96	300,720045	250,371547
41	0,950757	0,585427	69	16,560123	7,394012	97	317,90338	270,451425
42	0,953385	0,611844	70	17,495216	7,938272	98	326,578329	299,561088

43	1,170479	0,623099	71	19,031672	8,5206	99	360,747336	325,496326
44	1,282408	0,746672	72	20,813873	9,360502	100	501,685802	432,06017
45	1,375553	0,713221	73	22,382713	10,657427			

Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir de INE (s. f.).

4. METODOLOGÍA.

Para la tarificación del seguro, se sigue un enfoque de prima pura, de tal forma que la prima pura sea igual a la esperanza de la cuantía de las obligaciones por razón del seguro. Así, consideramos la siguiente prima pura:

$$\text{Prima pura} = p_{ola\ calor} * q_x * (1 + \alpha) * K \quad (1)$$

Donde $p_{ola\ calor}$ es la probabilidad de ola de calor estimada, q_x es la tasa de mortalidad, α es el factor de aumento de la mortalidad y K es la suma asegurada para cada individuo. En los siguientes apartados se detallan la obtención de cada una de las variables anteriores.

Se considerará que el seguro está formado por una cartera de 1000 personas, con una edad superior a los 18 años.

4.1. Probabilidad de ola de calor

Para modelar la probabilidad de ola de calor se emplea el modelo propuesto por Larsson (2023). Así, partimos de la serie histórica de temperatura máxima, a la que llamaremos Z_t . Dicha serie se puede descomponer en dos partes, siguiendo la siguiente especificación:

$$Z_t = S_t + X_t \quad (2)$$

S_t es una función determinista que captura la tendencia y estacionalidad de la serie de temperaturas. Particularmente, es una serie de Fourier truncada que sigue la siguiente ecuación:

$$S_t = a_0 + a_1 t + \sum_{k=1}^{N_s} (b_{2k-1} \cos(2\pi k \omega t) + b_{2k} \sin(2\pi k \omega t)) \quad (3)$$

Donde a_0 representa el nivel medio y a_1 la tendencia. b_k son los coeficientes que determinan el patrón estacional, N_s es el punto de truncamiento de la serie y ω es el patrón estacional anual que corresponde a los datos diarios de temperatura, que es igual a:

$$\omega = \frac{1}{365}$$

Una vez determinada la ecuación anterior, se determina la componente estocástica X_t como:

$$X_t = Z_t - S_t \quad (4)$$

Donde X_t se modelará como un proceso autorregresivo de orden p de media cero, siguiendo la siguiente ecuación:

$$X_t = \sum_{i=1}^p \lambda_i X_{t-i} + u_t \quad (5)$$

Donde $\lambda_i \in [1, i]$ representan los coeficientes del modelo y u_t representan los residuos del modelo, que siguen la siguiente forma:

$$u_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad (6)$$

Donde σ_t es una volatilidad que varía con el tiempo (volatilidad condicional) y ε_t es una secuencia de variables estocásticas independientes e igualmente distribuidas.

Para la volatilidad condicional, tenemos una estructura similar a Z_t :

$$\sigma_t^2 = \sigma_{S,t}^2 * \sigma_{G,t}^2 \quad (7)$$

Donde $\sigma_{S,t}^2$ es una función estacional que sigue la siguiente ecuación:

$$\sigma_{S,t}^2 = c_0 + \sum_{k=1}^{N_\sigma} (c_{2k-1} \cos(2\pi k \omega t) + c_{2k} \sin(2\pi k \omega t)) \quad (8)$$

Con c_k siendo los coeficientes del modelo, $\omega = \frac{1}{365}$ y N_σ es el punto de truncamiento de la serie.

Por otra parte, $\sigma_{G,t}^2$ es un proceso GARCH que sigue la siguiente ecuación:

$$\sigma_{G,t}^2 = 1 + d_1(\sigma_{G,t-1}^2 - 1) + d_2 \left(\frac{u_{t-1}^2}{\sigma_{S,t-1}^2} - 1 \right) \quad (9)$$

Donde d_1 y d_2 son los coeficientes. Con todo ello, ε_t se puede considerar como los residuos del modelo estandarizados, dados por:

$$\varepsilon_t = \frac{u_t}{\sigma_t} \quad (10)$$

Que se consideran distribuidos como variables normales de media cero y varianza unitaria.

Para calcular los coeficientes y parámetros anteriores, se sigue de la siguiente forma:

1. Se ajustan los parámetros de S_t con la serie de temperaturas máximas a través de máxima verosimilitud.

2. Se aplica $X_t = Z_t - S_t$ y se determinan los coeficientes autorregresivos de orden p , a través de la función ARIMA del paquete STATSMODELS.
3. Se determinan los componentes de la volatilidad condicional a través de máxima verosimilitud.

Utilizando el modelo anterior, se simulan distintas trayectorias de la temperatura. Para cada trayectoria, se calcula la existencia de ola de calor y su duración, según la definición establecida en el apartado 3.1. Además, se calcula la temperatura media en los días de ola de calor, la cual se usará para determinar el factor de aumento de ola de calor. Así, la probabilidad de ola de calor se calcula con la ecuación (11).

$$p_{ola\ calor} = \frac{n^o\ días\ con\ ola\ de\ calor\ en\ todas\ las\ simulaciones}{n^o\ simulaciones * n^o\ días\ del\ periodo} \quad (11)$$

4.2. MORTALIDAD

Para reflejar la cartera del seguro, se han simulado la edad y sexo de 1000 personas, a las que se ha aplicado su probabilidad de fallecimiento q_x . Por otra parte, para determinar el factor de aumento de la mortalidad, se ha aplicado la ecuación (12). En esta ecuación, se calcula cuantos grados ha aumentado la temperatura, respecto de los 34 °C. Una vez obtenido ese exceso, se multiplica por el factor 0.06 que es la proporción de aumento de mortalidad por cada grado que excede el umbral de 34 °C.

Estos datos corresponden con la temperatura de disparo (34 °C) y el riesgo atribuible de Madrid (6%) del informe elaborado por Carmona Alférez et al. (2015). Particularmente, el factor del 6% es la media del riesgo atribuible, calculada por Carmona Alférez et al. (2015), a través de un modelo de Poisson. El riesgo atribuible se define como el porcentaje de aumento del riesgo poblacional, con la hipótesis de que toda la población está expuesta a ese factor de riesgo.

Así, se define

$$\alpha = (\overline{T_{ola\ calor}} - 34) * 0.06 \quad (12)$$

Donde $\overline{T_{ola\ calor}}$ representa la media de temperatura en los días que forman una ola de calor.

5. RESULTADOS.

5.1. MODELO DE TEMPERATURA

Para aplicar el modelo descrito en el apartado 4.1, primeramente se determinan los coeficientes de la componente estacional, considerando que $N_s = 2$. En la Tabla 5 se recogen los valores obtenidos. Destaca el valor de la tendencia que es de $a_1 = 0,00012$, que representa un aumento de $0,438^{\circ}\text{C}$ de la temperatura máxima en un periodo de 10 años. Este coeficiente es similar al obtenido por Larsson (2023).

Tabla 5. Valores de los coeficientes del componente estacional del modelo.

Parámetro	Valor
a0	20,20539
a1	0,000124
b1	-11,1411
b2	0,74704
b3	1,359367
b4	1,118788

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se determina el orden del modelo autorregresivo aplicado a X_t . Para lo cual, se considera que $p \in [1,10]$, calculándose cada modelo y computándose el valor del estadístico BIC y AIC de cada modelo. En la Tabla 6 se recogen dichos valores para cada orden.

Tabla 6. Comparativa de BIC y AIC para cada orden del modelo autorregresivo.

AR(p)	BIC	AIC	AR(p)	BIC	AIC
1	40194,68	40180,54	6	40147,44	40097,93
2	40173,06	40151,84	7	40149,61	40093,02
3	40164,16	40135,87	8	40151,19	40087,54
4	40157,22	40121,85	9	40156,9	40086,17
5	40150,68	40108,24	10	40163,04	40085,23

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el criterio de información de Akaike (AIC) decrece según se aumenta el orden. Sin embargo, criterio de información bayesiano (BIC) alcanza un punto mínimo en $p = 6$. Por ello, y debido a la mayor penalización otorgada por el BIC, se ha considerado adecuado el modelo de orden 6.

Una vez determinado el orden del modelo autorregresivo, se han calculado los valores de cada coeficiente, recogiéndose en la Ilustración 5.1. Asimismo, los coeficientes $\lambda = 3,4,5$ se consideran no significativos, ya que tienen un pvalor mayor al 5%, rechazando la hipótesis nula de que son iguales a 0.

Ilustración 5.1. Valores de los coeficientes del modelo autorregresivo de orden 6.

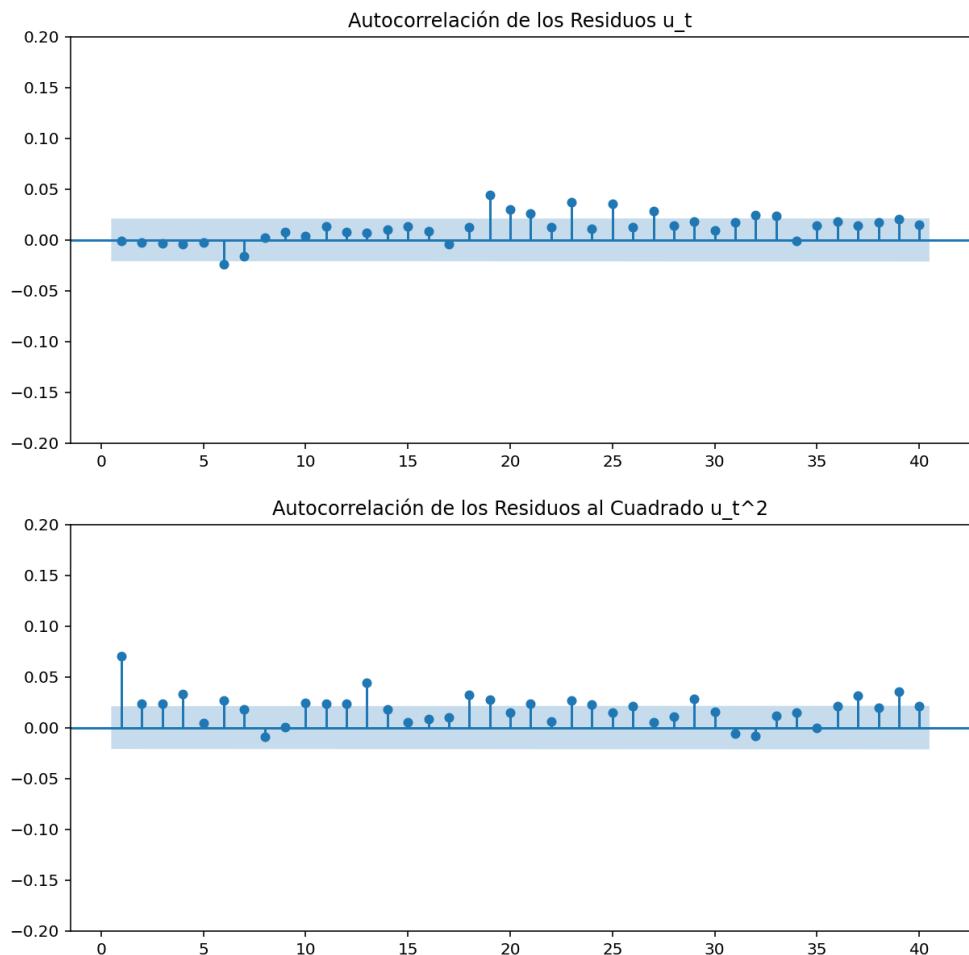
SARIMAX Results						
Dep. Variable:		Tmax	No. Observations:	8717		
Model:	ARIMA(6, 0, 0)		Log Likelihood	-20041.964		
Date:	Wed, 14 May 2025		AIC	40097.929		
Time:	13:11:03		BIC	40147.440		
Sample:	0		HQIC	40114.803		
		- 8717				
Covariance Type:		opg				
coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	
ar.L1	0.8376	0.010	85.198	0.000	0.818	0.857
ar.L2	-0.0939	0.013	-7.227	0.000	-0.119	-0.068
ar.L3	0.0127	0.014	0.941	0.347	-0.014	0.039
ar.L4	0.0108	0.014	0.794	0.427	-0.016	0.037
ar.L5	0.0108	0.014	0.779	0.436	-0.016	0.038
ar.L6	0.0376	0.011	3.572	0.000	0.017	0.058

Fuente: Elaboración propia.

Con los coeficientes ya calculados, podemos evaluar los residuos de este modelo. Para ello, en la Ilustración 5.2 se muestra la función de autocorrelación de los residuos y de su cuadrado. Como se observa, no existe correlación de los residuos, pero en los residuos al cuadrado si se encuentran. Esto es verificado con el test Ljung-Box, el cual otorga un pvalor de 0,6218 y 0, lo cual no rechaza y rechaza, respectivamente, la hipótesis nula de incorrección de los residuos.

Por último, se han determinado los valores correspondientes a la volatilidad condicional, obteniendo los coeficientes recogidos en la Tabla 7. Con todo ello, se calculan los errores estandarizados del modelo ε_t . Dichos errores deben ser incorrelacionados, de media 0 y normales.

Ilustración 5.2. Función de autocorrelación parcial de los residuos del modelo y su cuadrado



Fuente: Elaboración propia.

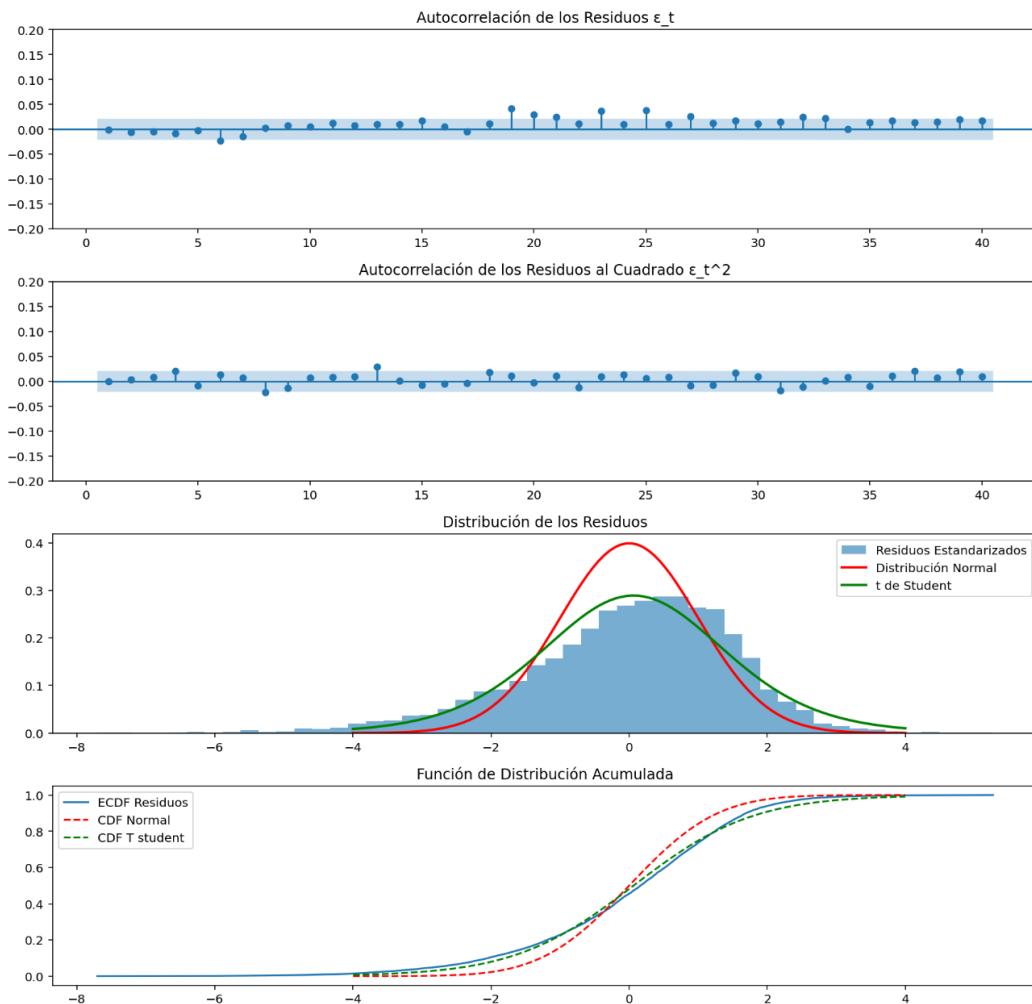
Tabla 7. Parámetros de la volatilidad del modelo.

Parámetro	Valor
c0	2,390734
c1	-0,06957
c2	0,356785
c3	-0,17381
c4	0,040795
d1	0,016431
d2	0,027089

Fuente: Elaboración propia.

En los dos primeros gráficos de la Ilustración 5.3, se han graficado las funciones de autocorrelación parcial de ε_t y ε_t^2 , en los cuales no se aprecia correlación entre los residuos. Esta conclusión se confirma con el test Ljung-Box, obteniendo unos pvalores de 0,6299 y 0,2024, respectivamente, no rechazando la hipótesis nula de incorrelación de residuos. Se ha comprobado la media de los residuos, obteniéndose -0,0150, el cual se aproxima a 0, cumpliendo, por tanto, dicho requisito.

Ilustración 5.3. Evaluación de los residuos estandarizados del modelo.



Fuente: Elaboración propia.

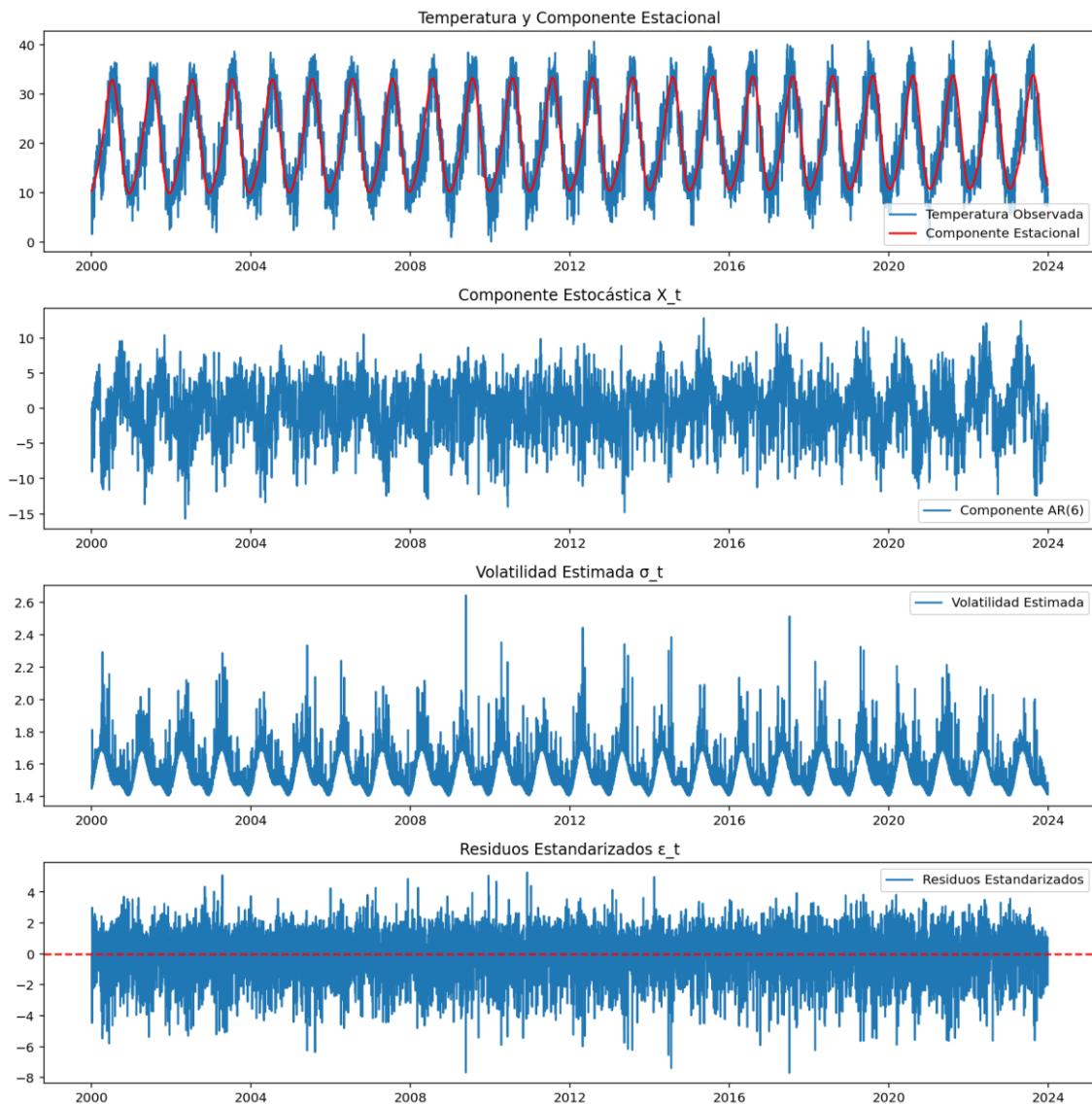
Por último, se comprueba el requisito de normalidad. Para ello, en los dos últimos gráficos de la Ilustración 5.3 se muestra la función de densidad y la función de distribución acumulada de los residuos así como las correspondientes a una distribución normal y otra t de Student.

Gráficamente, se observa que no se ajusta ni a una normal ni a una distribución t de Student. Esta conclusión se confirma con el test Anderson-Darling, cuyo pvalor es de 0

para la normal y el test de Kolmogórov-Smirnov, que para ambas distribuciones es de 0. Por ese motivo, se aplicará Bootstrap a los residuos, a fin de determinar la probabilidad de ola de calor.

En la Ilustración 5.4 se muestran todos los elementos calculados para la serie histórica. Se observa como la componente estacional recoge, de forma casi perfecta, la oscilación anual de temperatura.

Ilustración 5.4. Componentes calculados en la serie histórica de temperatura máxima de 2000 a 2024.

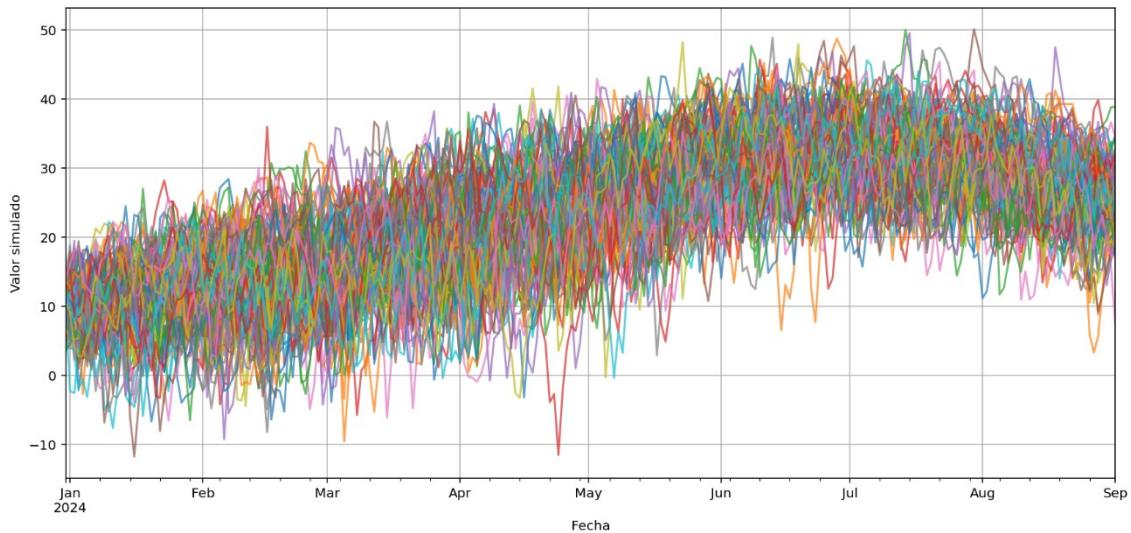


Fuente: Elaboración propia.

Así, simulamos, a través de monte Carlo, medio millón de trayectorias de la temperatura. Para cada una, se obtiene cuantas olas de calor existen y su duración, considerando un umbral de 33,5 °C, que es el obtenido con el percentil 95% de la serie histórica 1971-

2000. En la Ilustración 5.5 se muestran la trayectoria de las 100 primeras simulaciones, mientras que en la Tabla 8 se recoge el número de olas de calor por duración (hasta 20) en todas las simulaciones realizadas.

Ilustración 5.5. *Trayectoria de las 100 primeras simulaciones.*



Fuente: elaboración propia.

Como se observa, la duración más común es de 3 días, representando un 25% de todas las olas de calor. Con duraciones hasta 5 días, se consigue el 56,69 % de todas las olas de calor, mientras que el percentil 95% se consigue con duraciones de 16 días o menos.

Por otra parte, se ha calculado la temperatura media registrada en las olas de calor simuladas, que asciende a 37,03 °C. Asimismo, se ha obtenido un total de 12.084.247 de días en ola de calor, en todas las simulaciones. Aplicando la ecuación (11), se ha estimado una probabilidad de ola de calor de $p_{ola\ calor} = 0.2685388\bar{2}$.

Tabla 8. *Olas de calor, por duración y número, obtenidas del modelo.*

Duración	Número	Duración	Número
3	472.786	12	38.639
4	324.395	13	32.047
5	230.821	14	26.123
6	163.859	15	21.839
7	120.801	16	18.090
8	93.276	17	15.068

9	73.380	18	12.358
10	58.605	19	10.342
11	47.819	20	8.945

Fuente: elaboración propia.

5.2. Mortalidad y primas del seguro

Con los datos anteriores calculados, y aplicando la ecuación (11), se ha determinado el factor de aumento de mortalidad en un 0.1819, lo que implica que la mortalidad aumenta un 18% en presencia de ola de calor, según la temperatura media estimada.

$$p_{ola\ calor} = \frac{n^o\ días\ con\ ola\ de\ calor\ en\ todas\ las\ simulaciones}{n^o\ simulaciones * n^o\ días\ del\ periodo} \quad (13)$$

Una vez determinados todas las variables que intervienen en la prima del seguro, se procede a simular una cartera de 1000 personas, con su sexo y edad correspondiente. Despues, se les aplica la ecuación (12), considerando que la suma asegurada es igual, para cada individuo, a $K = 100000$, obteniendo la prima para cada uno, que se muestra en la Tabla 9. Con todo ello, la prima global de la cartera es de 1.600.336,69 €, para un total de 100 millones de euros asegurados.

$$\alpha = (\overline{T_{ola\ calor}} - 34) * 0.06 \quad (14)$$

Según la Tabla 9, las primas para mujeres, a la misma edad, son más reducidas que las primas a los hombres. Esto se debe a que la mortalidad femenina es mucho menor que la de los hombres.

En cuanto a la edad, por razones obvias, la mortalidad tiene un crecimiento proporcional respecto a ella. Si bien, existe alguna edad en la que su tasa de mortalidad es menor a las edades previas, dando primas más reducidas para edades mayores. Esto se puede deber a que los datos usados estén sesgados al año de cálculo (2023, en este caso).

Tabla 9. Tarificación del seguro por sexo, edad y número de personas.

EDAD	PRIMA HOMBRE	N.º PERSONAS	PRIMA MUJER	N.º PERSONAS
18	4,58 €	5	4,58 €	6
19	5,69 €	6	5,69 €	7

20	4,61 €	2	4,61 €	4
21	12,24 €	6	12,24 €	2
22	11,64 €	5	11,64 €	6
23	12,02 €	6	12,02 €	7
24	13,57 €	5	13,57 €	8
25	5,89 €	8	5,89 €	5
26	5,79 €	4	5,79 €	8
27	14,01 €	4	14,01 €	6
28	13,71 €	4	13,71 €	9
29	6,01 €	6	6,01 €	7
30	5,95 €	4	5,95 €	5
31	6,56 €	8	6,56 €	5
32	17,36 €	5	17,36 €	7
33	18,29 €	6	18,29 €	7
34	18,93 €	8	18,93 €	5
35	21,86 €	7	21,86 €	4
36	18,37 €	8	18,37 €	4
37	24,71 €	5	24,71 €	7
38	12,32 €	12	12,32 €	4
39	12,89 €	9	12,89 €	6
40	30,24 €	7	30,24 €	6
41	30,18 €	2	30,18 €	6
42	19,42 €	4	19,42 €	9
43	37,15 €	6	37,15 €	7
44	23,70 €	2	23,70 €	4

45	43,66 €	7	43,66 €	10
46	49,63 €	7	49,63 €	4
47	51,03 €	2	51,03 €	4
48	58,77 €	4	58,77 €	2
49	38,89 €	5	38,89 €	3
50	38,78 €	4	38,78 €	10
51	87,16 €	5	87,16 €	6
52	91,78 €	13	91,78 €	9
53	59,21 €	8	59,21 €	5
54	124,43 €	8	124,43 €	6
55	138,27 €	5	138,27 €	5
56	157,39 €	6	157,39 €	6
57	172,52 €	8	172,52 €	3
58	92,52 €	8	92,52 €	7
59	103,89 €	5	103,89 €	7
60	107,09 €	9	107,09 €	4
61	120,85 €	6	120,85 €	5
62	283,52 €	4	283,52 €	5
63	305,89 €	7	305,89 €	10
64	339,52 €	3	339,52 €	5
65	369,67 €	3	369,67 €	3
66	176,23 €	7	176,23 €	9
67	205,80 €	9	205,80 €	6
68	474,86 €	5	474,86 €	2
69	234,68 €	5	234,68 €	3

70	251,96 €	5	251,96 €	5
71	604,06 €	1	604,06 €	2
72	297,10 €	14	297,10 €	5
73	338,26 €	8	338,26 €	7
74	808,85 €	9	808,85 €	4
75	916,54 €	13	916,54 €	8
76	469,55 €	5	469,55 €	3
77	556,25 €	11	556,25 €	7
78	1.188,42 €	7	1.188,42 €	6
79	734,00 €	7	734,00 €	6
80	1.483,76 €	5	1.483,76 €	4
81	920,99 €	8	920,99 €	2
82	1.854,83 €	8	1.854,83 €	3
83	1.309,92 €	4	1.309,92 €	8
84	1.522,64 €	6	1.522,64 €	3
85	1.792,16 €	4	1.792,16 €	12
86	3.046,51 €	5	3.046,51 €	6
87	2.359,02 €	11	2.359,02 €	4
88	3.867,05 €	9	3.867,05 €	8
89	3.245,00 €	4	3.245,00 €	7
90	3.793,71 €	5	3.793,71 €	3
91	5.710,41 €	3	5.710,41 €	5
92	6.452,04 €	7	6.452,04 €	5
93	7.173,94 €	3	7.173,94 €	8
94	6.313,83 €	6	6.313,83 €	9

95	7.057,79 €	7	7.057,79 €	5
96	7.946,66 €	7	7.946,66 €	9
97	10.090,09 €	4	10.090,09 €	9
98	10.365,42 €	11	10.365,42 €	8
99	11.449,93 €	9	11.449,93 €	6
100	15.923,24 €	7	15.923,24 €	3
Total general	15.923,24 €	520	15.923,24 €	480

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES.

El objetivo a alcanzar de este trabajo es la tarificación de un seguro paramétrico de fallecimiento por ola de calor. Para ello, se ha realizado un análisis de la literatura existente sobre los seguros paramétricos y sus características, exponiendo su definición y sus ventajas e inconvenientes. De dicho análisis, se puede afirmar que el seguro paramétrico es un instrumento complementario al seguro tradicional, debido a que se adapta mejor en ciertos tipos de riesgos, como los climáticos.

Seguidamente, se ha analizado la relación existente entre la mortalidad y las olas de calor. Como se ha expuesto, las olas de calor pueden aumentar la mortalidad de forma directa, a través del agotamiento por calor, así como de forma indirecta, agravando patologías previas de cada persona.

Igualmente, se han determinado alguno de los factores que aumentan o reducen la mortalidad. Entre ellos se encuentran las condiciones socioeconómicas, el área de residencia y su tipo de entorno (urbano o rural), la frecuencia de olas de calor o la existencia de planes específicos.

Todos ellos difieren su impacto, según el país y región estudiada. De cara a tarificar el seguro, sería adecuado proponer, en futuras investigaciones, la incorporación de dichas variables, de cara a mejorar la correlación entre ola de calor y mortalidad, reduciendo así el riesgo base del seguro.

Por último, se ha enunciado la problemática en la definición de ola de calor. Aun así, se ha propuesto una definición que permite su estimación y cálculo, en línea con otras definiciones dadas por organismos gubernamentales y de meteorología. Con ello, se sientan las bases del modelo que se ha aplicado.

Previamente al modelo, se ha empleado la serie histórica, desde el 2000 hasta el 2023, de temperatura máxima para Madrid. Dicha serie revela un comportamiento oscilante anual con una gran volatilidad. Adicionalmente, se ha computado las diferentes olas de calor históricas concluyendo que las olas de calor son sensibles a la duración mínima considerada, mientras que, en el caso del umbral de temperatura diaria, este no es sensible hasta que no se pasan los 33 °C.

Con ello, se ha aplicado el modelo propuesto por Larsson para estimar las temperaturas futuras y obtener la probabilidad de ola de calor. Ese modelo reflejaba que la temperatura media se verá incrementada en 0,4 °C en los próximos 10 años. Asimismo, arrojaba una

probabilidad del 0,25% de ola de calor en el periodo de junio a agosto, con una temperatura media, en olas de calor, de unos 37 °C aproximadamente.

Con estos datos, procedimos a incrementar la tasa de mortalidad para cada edad, de forma genérica. Según la literatura obtenida, se ha estimado un aumento del 6% por cada grado que se supera el umbral de 34 °C en la ciudad de Madrid. Así, obtenemos un incremento de un 18% en las tasas de mortalidad.

En futuras investigaciones se debería realizar un análisis exhaustivo del incremento por cada grupo de edad, sexo y otros factores demográficos, que permita ajustar y detallar el factor de aumento de mortalidad, con la finalidad de ajustar las primas al riesgo de cada persona.

Con los datos anteriores, se ha simulado una cartera de 1000 personas, obteniendo una prima global de 1.600.336,69 € para una suma asegurada de la cartera de 100 millones de euros. Asimismo, la prima femenina, para una misma edad, era más reducida que la prima individual obtenida en los hombres.

En conclusión, en este trabajo se ha diseñado e implementado un seguro paramétrico de fallecimiento por ola de calor, ampliando el mercado de seguros paramétricos y reduciendo la brecha de cobertura de riesgos existentes. Además, se ha establecido una metodología que, en futuras investigaciones, puede aplicarse para otros riesgos de vida.

7. REFERENCIAS

- AEMET. (2024). *Olas de calor en España desde 1975*. https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_calor/Olas_Calor_Actualizacion_Junio_2019.pdf
- AON. (2024). *I Estudio sobre seguros paramétricos en España*. <https://noa.aon.es/wp-content/uploads/2024/11/I-Estudio-sobre-seguros-parametricos-en-Espana-VF.pdf>
- Bardey, D. (2008). Asimetrías de información en los mercados de seguros: teoría y evidencia. *Revista Fasecolda*, 125-2008, 14-18. <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n%20/bib/124859.do>
- Basu, R., & Samet, J. M. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), 190-202. <https://doi.org/10.1093/EPIREV/MXF007>,
- Bhardwaj, A. (2020, noviembre 16). *Seguro paramétrico: preciso, rápido y rentable*. <https://axaxl.com/es/fast-fast-forward/articles/seguro-parametrico-preciso-rapido-y-rentable>
- Bonazzi, A., Lowes, B., Candian, I., Solana, M., & Carter, L. (2024). *Parametric insurance to build financial resilience*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-10/undp_gcc_parametric_insurance_to_build_financial_resilience.pdf
- Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat Stroke. *New England Journal of Medicine*, 346(25), 1978-1988. <https://doi.org/10.1056/NEJMra011089>
- Carmona Alférez, R., Díaz Jiménez, J., & Linares Gil, C. (2015). *Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009*. Agencia Estatal de Meteorología. https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/temp_umbrales_mortalidad_calor.pdf
- Chiabai, A. (2020). *Olas de calor*. https://info.bc3research.org/wp-content/uploads/2020/12/04_BC3_FACTSHEETS_OLAS-DE-CALOR.pdf
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo,

- Y. L. L., Wu, C. F., Kan, H., Yi, S. M., De Sousa Zanotti Staglorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- INE. (s. f.). *Tablas de mortalidad por año, sexo, edad y funciones*. Recuperado 12 de mayo de 2025, de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=27153>
- Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco. (s. f.). *Olas de calor*. Recuperado 13 de mayo de 2025, de <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur/varmebolja>
- Kang, C., Park, C., Lee, W., Pehlivan, N., Choi, M., Jang, J., & Kim, H. (2020). Heatwave-related mortality risk and the risk-based definition of heat wave in South Korea: A nationwide time-series study for 2011–2017. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165720>
- Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health*, 29(1), 41-55. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843>
- Larsson, K. (2023). Parametric heat wave insurance. *Journal of Commodity Markets*, 31, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2023.100345>
- Lin, X., & Kwon, W. J. (2020). Application of parametric insurance in principle-compliant and innovative ways. *Risk Management and Insurance Review*, 23(2), 121-150. <https://doi.org/10.1111/rmir.12146>
- Martínez-Solanas, È., & Basagaña, X. (2019). Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a Heat Health Prevention Plan. *Environmental Research*, 169, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.006>
- Ministerio de Sanidad. (2024). *Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperatura sobre la salud*.
- Muñoz Paredes, M. L. (2023). El seguro paramétrico o basado en índices. *Revista Española de Seguros*, 196, 519-556. <https://almacendederecho.org/el-seguro-parametrico-o-basado-en-indices>

Ocampo, D. G., & Moreira, C. L. (2024). Uncertain waters: can parametric insurance help bridge NatCat protection gaps? *FSI Insights*. www.bis.org/emailalerts.htm.

Organización Meteorológica Mundial. (s. f.). *Heatwave*. Recuperado 12 de mayo de 2025, de <https://wmo.int/topics/heatwave>

Paredes-Fortuny, L., Salvador, C., Vicedo-Cabrera, A. M., & Khodayar, S. (2024). Geographical Patterns in Mortality Impacts Due To Heatwaves of Different Characteristics in Spanish Cities. *GeoHealth*, 8(8). <https://doi.org/10.1029/2024GH001092>

Perkins, S. E. (2015). A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Research*, 164-165, 242-267. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2015.05.014>

Ruuhela, R., Votsis, A., Kukkonen, J., Jylhä, K., Kankaanpää, S., & Perrels, A. (2021). Temperature-related mortality in Helsinki compared to its surrounding region over two decades, with special emphasis on intensive heatwaves. *Atmosphere*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>

Sengupta, R., & Kousky, C. (2020). *Parametric insurance for disasters*. https://esg.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2023/07/Parametric-Insurance-for-Disasters_Sep-2020.pdf

Sistema nacional de emergencias de Uruguay. (s. f.). *Ola de Calor*. Recuperado 13 de mayo de 2025, de <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/politicas-gestion/ola-calor>

Swiss Re. (2022). *Natural catastrophes 2021: flood gates are open*. <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2022-01.html>

Swiss Re. (2024). *Comprehensive Guide to Parametric Insurance*. <https://corporatesolutions.swissre.com/dam/jcr:0cd24f12-ebfb-425a-ab42-0187c241bf4a/2023-01-corso-guide-of-parametric-insurance.pdf>

Viergutz, A. (2024). *Basis risk in parametric insurance: challenges and mitigation strategies*.

https://www.pwc.ch/en/publications/2024/Basis_risk_in_parametric_insurance_challenges_and_mitigation_strategies.pdf

Villabona, M. V., & Pérez, N. P. G. (2023). Seguros paramétricos: panorama normativo y perspectivas. *Revista Fasecolda*, 190, 46-51.
<https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/916>

Vorvick, L. J. (2023, febrero 2). *Normas de temperatura corporal*.
<https://medlineplus.gov/ency/article/001982.htm>