

Seguros para un mundo renovable y sostenible

Jorge M. Uribe

Área de Seguro y Previsión Social

Seguros para un mundo renovable y sostenible

Jorge M. Uribe

Fundación **MAPFRE**

Fundación MAPFRE no se hace responsable del contenido de esta obra, ni el hecho de publicarla implica conformidad o identificación con la opinión del autor o autores.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista en la ley.

© 2020, Fundación MAPFRE
Paseo de Recoletos, 23
28004 Madrid (España)

www.fundacionmapfre.org

ISBN: 978-84-9844-758-3

Depósito Legal: M-14407-2020

Maquetación y producción editorial: Cyan, Proyectos Editoriales, S.A.

PRESENTACIÓN

Desde 1975 Fundación MAPFRE desarrolla actividades de interés general para la sociedad en distintos ámbitos profesionales y culturales, así como acciones destinadas a la mejora de las condiciones económicas y sociales de las personas y de los sectores menos favorecidos de la sociedad.

El área de Seguro y Previsión Social trabaja con el objetivo de promover y difundir el conocimiento y la cultura del seguro y la previsión social.

En cuanto a las actividades orientadas hacia la sociedad en general, creamos contenidos gratuitos y universales en materia de seguros que divulgamos a través de la página web Seguros y Pensiones para Todos. Organizamos seminarios en universidades, talleres para escolares y visitas gratuitas para grupos al Museo del Seguro. Asimismo, publicamos guías divulgativas para dar a conocer aspectos básicos del seguro.

Además de esta labor divulgativa, apoyamos la investigación mediante la publicación de informes sobre mercados aseguradores y otros temas de interés, la concesión de ayudas para la investigación en seguros y previsión social, la publicación de libros y cuadernos de temática aseguradora y la organización de jornadas y seminarios. Nuestro compromiso con el conocimiento se materializa en un centro de documentación especializado que da soporte a todas nuestras actividades y que está abierto al público en general.

Dentro de estas actividades se encuadra la concesión de una Ayuda a la Investigación "Ignacio H. de Larramendi" 2018 en Seguros a Jorge M. Uribe para el desarrollo del trabajo de investigación titulado: *Seguros para un mundo renovable y sostenible*, tutorizado por José Carlos Nájera, subdirector general de Siniestros de MAPFRE GLOBAL RISKS.

Todas nuestras actividades se encuentran disponibles y accesibles en internet, para usuarios de todo el mundo, de una manera rápida y eficaz, a través de nuestra página web: www.fundacionmapfre.org.

Fundación MAPFRE

Jorge M. Uribe es profesor de la Facultad de Economía y Empresa de la Universitat Oberta de Catalunya. Fue director del grupo de Finanzas Cuantitativas de la Universidad del Valle. Es doctor en Economía por la Universidad de Barcelona y tiene dos maestrías, una del Instituto Universitario Europeo y otra de la Universidad de los Andes. Su investigación trata sobre la gestión cuantitativa del riesgo y la incertidumbre especialmente en finanzas y mercados de energía. Sobre este último tema ha publicado en revistas científicas como: *Applied Energy*, *Energy Economics*, *Energy* y *The Energy Journal*.

ÍNDICE

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
1. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	15
2. METODOLOGÍA PROPUESTA	19
2.1. Definición de cuantil y del valor en riesgo	19
2.2. Regresión cuantílica	20
2.3. Valor en riesgo del valor en riesgo	21
2.4. Valor de la pérdida esperada y fijación de la prima	22
3. DATOS	25
4. RESULTADOS	27
4.1. Regresiones MRL	27
4.2. Regresiones cuantílicas	29
4.3. Valores críticos de riesgo y prima anual	35

5. CÁLCULO DE LOS BENEFICIOS DE DIVERSIFICACIÓN DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN DISTINTAS LATITUDES	41
5.1. Medición del riesgo sistémico y la contribución de cada entidad	42
5.2. Medición del riesgo sistémico y la contribución de cada cliente al riesgo de baja generación debido al clima	44
5.3. Resultados	47
6. CONCLUSIONES Y POSIBLES EXTENSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO. CÓDIGOS	53

RESUMEN

Se presenta una metodología para el cálculo del precio de un seguro que tiene como objeto cubrir el riesgo debido al clima de un proyecto de generación de electricidad mediante paneles solares. Se contabilizará como un evento que ocasiona el pago del seguro, cuando la radiación solar que se registre en la superficie terrestre en un día determinado se encuentre por debajo de un umbral crítico, que debe ser acordado por las partes, de acuerdo con la metodología explicada a continuación.

La propuesta hace uso de regresiones cuantílicas y modifica los conceptos de *valor en riesgo* y *pérdida esperada en las colas*, con el fin de adecuarlas de forma natural al problema de estudio. La aplicación de los métodos propuestos utiliza datos de radiación solar diaria observada en tres ciudades españolas: Madrid, Barcelona y Valencia, en el período entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019, así como variables climáticas (temperatura, velocidad del viento, precipitación) y precios de bolsa observados, para calcular la prima técnica de seguros.

Finalmente, se propone también una forma para calcular los beneficios de diversificación de la generación de electricidad en diferentes latitudes. Esta propuesta hace uso de los conceptos de CoVaR y Delta-CoVaR propios de la literatura bancaria de riesgo sistémico.

Palabras clave: seguros, clima, paneles solares, radiación, autogeneración.

INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objeto exponer una metodología para llevar a cabo la fijación de la prima de seguro de un producto enfocado al cubrimiento del riesgo de proyectos de generación de electricidad con fuentes de energía renovables y variables (VRE, por sus siglas en inglés). Esta categoría incluye tecnologías de generación como los paneles solares y las turbinas de viento.

Los principios generales de valoración del riesgo debido al clima y, por tanto, del establecimiento de la prima técnica, en ambos casos, son los mismos. No obstante, la ilustración de la metodología se llevará a cabo con paneles solares, en cuyo caso la modelización de la radiación solar, que es su insumo natural para la generación de electricidad, nos permitirá establecer una forma óptima de medir el riesgo de la actividad, y en particular el riesgo asociado con factores climáticos. Para este fin, trabajaremos con datos de radiación recolectados para tres coordenadas en tres ciudades de España (Barcelona, Madrid y Valencia) expuestas ante variaciones climáticas idiosincráticas. Consideraremos variables climáticas tales como la temperatura, la velocidad del viento y un indicador de pluviosidad. También se discutirá la forma de expandir el análisis a otras tecnologías como las turbinas de viento, de forma simple.

En esta propuesta, el riesgo se refiere a aquellas situaciones en las que, debido a variaciones en el clima, la radiación registrada sobre la superficie terrestre sufre importantes alteraciones, que provocan a su vez una disminución considerable en la capacidad de generación de energía eléctrica de los paneles solares, los cuales se encargan de transformar tal radiación en electricidad. Debido a que no se trata de una situación típica de operación del panel, sino precisamente a situaciones anómalas en las que la generación de electricidad es particularmente baja, se utilizan técnicas econométricas que nos permiten enfocar directamente en estos eventos extremos de baja generación. En términos estadísticos, la medición del riesgo debido al clima implica la modelización de las colas de la distribución de la radiación solar, en lugar de la modelización de su media.

Una forma de cuantificar estas situaciones de baja generación es a través de regresiones cuantílicas. Las regresiones cuantílicas son una alternativa metodológica ante las regresiones clásicas. Mientras estas últimas buscan explicar la *media* de una variable, en su lugar, las regresiones cuantílicas constituyen una técnica de mayor generalidad que permite estudiar la distribución de la variable dependiente en su totalidad, incluidas sus colas, las cuales albergan los casos extremos de bajas realizaciones. En nuestro caso, permiten describir el efecto que tienen las variables climáticas sobre la radiación solar registrada en la superficie terrestre a lo largo de toda la distribución de probabilidad de la radiación solar. O en otras palabras, explicar el efecto del clima sobre la radiación cuando los niveles de tal radiación son bajos, medios o altos.

La importancia social de la técnica de valoración de riesgo propuesta aquí radica en que esta contribuye con el diseño de nuevos productos dentro de la industria de seguros, que sin duda favorecerán la mitigación del riesgo asociado con factores climáticos, implícito en los proyectos VRE. De esta forma, se incentiva la materialización de más proyectos VRE, toda vez que se brindan mejores herramientas a los potenciales inversores, que les permitan mantener el riesgo bajo umbrales tolerables. La puesta en marcha de más proyectos de empresa privada (o de autoconsumo por parte de hogares o comunidades de vecinos) para la generación de electricidad mediante fuentes de energía renovables conlleva notables impactos positivos en términos de sostenibilidad ambiental y económica para la sociedad.

Una innovación metodológica de la presente propuesta es que el valor estimado de la prima de seguros recae sobre lo que denominaremos el *VaR del VaR* (VaR^2), es decir, el valor en riesgo (VaR, por sus siglas en inglés) del valor en riesgo. El VaR es una medida del riesgo ampliamente utilizada en la literatura financiera y en la práctica, tanto por parte de reguladores como de empresas. Una de sus virtudes es que es muy fácil de interpretar. En el contexto financiero, el VaR de una cartera de activos corresponde a la *máxima pérdida que tal cartera puede enfrentar, en un horizonte de tiempo determinando t* (generalmente un día, una semana, un mes), *con un nivel de confianza $1 - \alpha$, previamente establecido* (usualmente entre 95,0 y 99,9 %). En otras palabras, el VaR_t^α es una pérdida de tal magnitud que solo α % de las pérdidas esperadas estarán por encima suyo, en el período t , mientras que $(1 - \alpha)$ % pérdidas estarán por debajo. Otra forma de entender el VaR es como el cuantil $(1 - \alpha)$ -ésimo,

$q^{1-\alpha}$, de la distribución de pérdidas de la cartera, ya que se trata un número que parte la muestra en dos, dejando α % de los datos de pérdidas por encima y $(1 - \alpha)$ % por debajo.

En esta propuesta, primero calcularemos un análogo del VaR financiero, que en nuestro caso corresponderá a un cuantil muy bajo de la distribución de la radiación solar registrada en la superficie terrestre. La razón para modelizar la radiación en lugar de la generación o el costo de esta es que la radiación observada es de conocimiento público y solo depende del clima. De esta forma, fijar el pago del evento cubierto por un potencial instrumento de seguros es más sencillo, y a la vez se garantiza que el evento solo se producirá como consecuencia de ciertas configuraciones climáticas adversas para la generación de electricidad mediante paneles, y no a otros posibles malfuncionamientos de la tecnología (los cuales ameritan un estudio separado), o debido a otras fuentes de variación exógenas que afecten los precios de la electricidad en el mercado.

Una vez estimado el VaR de la radiación solar, con frecuencia diaria, el siguiente paso consiste en estimar un cuantil de la serie de VaR, que se referirá a los peores escenarios dentro de los peores escenarios. En otras palabras, se procederá a estimar un *VaR del VaR*. Con base en este segundo estadístico, como veremos, será posible calcular el valor esperado de la pérdida que se busca asegurar (asociada con eventos muy extremos de baja generación), en cualquier horizonte de tiempo (un año en nuestro caso), y por tanto, será posible estimar el valor de la anual prima técnica del seguro y fijar las cláusulas de pago del contrato.

Nuestra metodología también permite analizar de forma sistemática, y por primera vez, el efecto de las variables climáticas sobre la radiación solar registrada, por lo que abre la puerta para futuros estudios sobre los efectos del cambio climático en la generación potencial (a su máxima capacidad) de las tecnologías fotovoltaicas. Tópico relevante y, sin embargo, escasamente estudiado en la literatura.

Finalmente, también se propone una metodología para llevar a cabo un ordenamiento de los clientes de una compañía de seguros según su exposición al riesgo del clima, y de acuerdo con el portafolio existente de contratos en la empresa aseguradora en un momento dado. La metodología propuesta es una adaptación de

indicadores propios de la literatura de riesgo sistémico bancario, al caso de la generación eléctrica mediante paneles solares. No obstante, cabe aclarar que los resultados expuestos en este apartado del estudio son únicamente ilustrativos, ya que hacen uso de datos simulados y consideran muy pocas unidades de riesgo (contratos). Este ejercicio puede constituir un punto de partida teórico, sobre el que las empresas aseguradoras podrían apoyarse para realizar el cálculo del riesgo asociado con la venta de un contrato de seguros contra eventos climáticos adversos, y por tanto puede ser visto como una herramienta para la gestión de carteras y las decisiones de reaseguro.

El resto de este documento está organizado así: en la sección uno se revisa la importancia y justificación del proyecto; en la dos se describe con detalle la propuesta metodológica; en la sección tres se encuentran los datos y fuentes de información utilizadas para garantizar la posibilidad de replicar el estudio; en la cuatro se presentan los resultados de una aplicación de los métodos propuestos para el caso de tres ciudades españolas; en la sección cinco se muestra la forma de calcular los beneficios de diversificación o riesgo de catástrofe de los proyectos, y en la seis se presenta la conclusión de la propuesta. Al final del estudio se pueden encontrar los códigos para llevar a cabo las estimaciones necesarias en el software estadístico de licencia abierta R.

1. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para mitigar de manera efectiva las consecuencias más adversas del cambio climático, el Acuerdo de París decidió limitar el incremento de la temperatura global a 2 °C por encima de los niveles preindustriales e idealmente a 1,5 °C. Esto solo será posible si se logra una contribución más significativa de las alternativas de producción de energía renovable (RE) dentro de la matriz total de generación de electricidad. En particular, se espera que las fuentes de electricidad renovable variable (VRE), que se refieren a aquellas fuentes de generación que producen electricidad a partir de flujos estocásticos de energía (por ejemplo, el viento o el sol), desempeñen un papel fundamental en el fomento de la sustitución de los combustibles fósiles por alternativas verdes, lo cual sin duda ayudará a reducir la dependencia del carbón en el sector eléctrico (Hu *et al.*, 2018). Por esta razón, el mundo ha sido testigo de una inversión global en proyectos de energía renovable 285,9 billones de dólares en 2015 y el aumento anual en la capacidad de energía también alcanzó su nivel más alto en todas las regiones ese mismo año, cuando los VRE representaron aproximadamente el 77 % de toda la nueva capacidad de generación (Ioannou *et al.*, 2017). En 2017 esta cifra fue igual a 279,8 billones de dólares. En Europa el proyecto de matriz de generación para 2020 apunta a producir el 20 % de la energía a partir de energías renovables y, en particular, a través de energía eólica y solar (Gatzert y Kosub, 2016).

A medida que aumenta el número de inversiones en ER, también lo hace la necesidad de medir el riesgo asociado con ellas desde diferentes perspectivas en las fases de planificación, construcción y operación de los proyectos. Si bien las tecnologías y las empresas de ER tienen un perfil de riesgo potencial más bajo que las empresas de energía convencionales, al estar desconectadas de los precios de los combustibles fósiles (Ferrer *et al.*, 2018), enfrentan igualmente una considerable exposición a riesgos de fenómenos naturales, tecnológicos, financieros y regulatorios. Estos riesgos e incertidumbres deben ser evaluados y se les debe abordar adecuadamente para garantizar la rentabilidad de la inversión.

La contribución de este estudio es precisamente avanzar en la comprensión de las fuentes de riesgo de los proyectos VRE, y en particular de aquellas asociadas con el clima, de forma tal que sea posible fijar el precio de una herramienta potencial de cubrimiento de riesgo, que pueda ser ofrecida por una empresa de seguros a los generadores interesados. Por otro lado, debería considerarse el potencial de comercializar este tipo de seguros a empresas instaladoras de paneles fotovoltaicos o compañías comercializadoras, que tengan interés por ofrecer dentro del proyecto una garantía ampliada al usuario final.

La gran mayoría de la literatura académica que estudia el papel del sector financiero (bancario y de seguros) en relación con los proyectos de ER se enfoca en proyectos con grandes costos de inversión iniciales, como lo son los parques eólicos en tierra y en alta mar (Gatzert y Kosub, 2016). Sin embargo, una tendencia notable en la actualidad, dentro del mercado de tecnologías de energía renovable de muchos países desarrollados alrededor del mundo, es el surgimiento de consumidores de electricidad que también actúan como productores (conocidos como “prosumidores”). La principal motivación de estos consumidores no es vender electricidad a la red, sino cubrir sus propias necesidades de electricidad, al menos parcialmente, mediante la autogeneración. No obstante, la inversión inicial en paneles solares o en turbinas eólicas es costosa, ya que por definición se trata de tecnologías intensivas en capital (incluso en el caso de proyectos pequeños o medianos). Por esta razón, amerita un examen comprensivo del riesgo que supone tal inversión para la empresa o el hogar que desea convertirse en un generador de electricidad.

A diferencia de los grandes proyectos de energía renovable, estos proyectos más pequeños enfrentan una oferta muy limitada de productos financieros y de seguros estandarizados, útiles para financiar la inversión inicial o para cubrir los riesgos de operación asociados con las tecnologías de generación. Por ejemplo, mientras que los grandes proyectos de ER pueden recaudar fondos mediante mecanismos como *project-finance* (Steffen, 2018) o emisiones de bonos para públicos sindicados, también pueden cubrir su riesgo utilizando instrumentos como opciones reales (Kozlova, 2017) e incluso aprovecharse de los beneficios de diversificación que supone la inversión en diferentes tecnologías de generación eléctrica simultáneamente (Aquila *et al.*, 2017). En el caso de proyectos de VRE medianos o

pequeños, dirigidos principalmente a consumidores que también actúan como productores de electricidad, las alternativas financieras estandarizadas de seguros y crédito son insignificantes.

El problema de fondo es que la eficiencia energética aún no es considerada como una inversión atractiva por parte del sector financiero. Esto limita la posibilidad de utilizar el financiamiento privado externo como fuente de capital líquido para los proyectos VRE. La razón es que se carece de datos estadísticos sobre los ahorros reales de energía que suponen estos proyectos, y la reducción en costos asociada con los proyectos de inversión en eficiencia energética. Tampoco se cuenta con información confiable y suficiente sobre las tasas de incumplimiento de este tipo de empresas y, por ende, medir y cubrir el riesgo en el sector es complejo.

Aquí se propone cómo llevar a cabo el proceso de fijación de precios para un producto de seguros que ofrezca cubrir el riesgo de un proyecto VRE basado en variables climáticas. El clima ha sido identificado como uno de los principales factores de riesgo en los mercados de energías renovables (ver, por ejemplo, Mosquera *et al.*, 2017, 2018; Cardoza *et al.*, 2018) y el análisis de riesgo basado en variables meteorológicas permite estimar el riesgo, incluso si la compañía de seguros carece de otra información sobre otros proyectos del mismo tipo ejecutados con anterioridad.

La metodología propuesta podrá utilizarse para calcular el riesgo de un proyecto de VRE dado cuando solo se dispone de series meteorológicas, precios de electricidad y características técnicas del estudio. Esto es importante porque para los proyectos de ER, especialmente para los más pequeños, el tipo de registros generalmente utilizados para la fijación de la prima, por regla general, es insuficiente.

2. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta se basa en regresiones cuantílicas condicionales. Tales regresiones aplicadas en este caso permiten medir el efecto sobre la radiación solar de factores climáticos como la temperatura, la velocidad del viento y las lluvias registradas en diferentes escenarios: por ejemplo, cuando la radiación observada es baja, media o alta. Además, permite calcular el valor mínimo diario (con cierto nivel de confianza) que cabría esperar en términos de radiación dado el clima y, de esta forma, calcular el VaR de la radiación con un horizonte diario.

Este primer paso nos permite acceder a una serie de tiempo que contiene los VaR de la radiación. Tales cuantiles muestran la evolución de los montos mínimos de radiación que se pudo llegar a observar en cada momento y, por tanto, constituyen los escenarios menos convenientes, en términos de la radiación registrada en la superficie terrestre, que hubiesen sido posibles a lo largo de la muestra de estudio. Estos escenarios son por sí mismos un contexto conservador del riesgo (ya que solo serán superados por la realidad en un porcentaje pequeño de los casos). No obstante, la metodología esbozada a continuación aún incorpora un paso más, que consiste en identificar, dentro de estos hipotéticos escenarios adversos, cuáles son los peores de todos, con el fin de utilizar tales situaciones para fijar el precio del producto de seguros.

2.1. DEFINICIÓN DE CUANTIL Y DEL VALOR EN RIESGO

Un cuantil es un estadístico que divide el rango de una distribución de probabilidad en fragmentos continuos con igual longitud, o en otras palabras, que divide las observaciones de una muestra en grupos equivalentes. Por ejemplo, los *cuantiles* son tres puntos de corte que dividen la muestra en cuatro grupos con igual número de elementos en cada grupo, mientras que los *deciles* son nueve puntos de corte que dividen la muestra en diez grupos, y los *percentiles* en cien. La *mediana* por su parte es el cuantil que divide la muestra en dos grupos.

En el contexto de nuestro problema de estudio, el cuantil α -ésimo de la distribución de la radiación solar puede ser definido como:

$$q_y^\alpha = F_y^{-1}(\alpha) = \inf\{y | F(y) > \alpha\}, \quad (1)$$

donde $F_y = Pr(Y \leq y)$ es la función de distribución acumulada de la variable aleatoria y , y $\alpha \in (0,1)$. En nuestro caso específico, q_y^α es el nivel de radiación para el cual una fracción $(1 - \alpha)$ de las observaciones de radiación registradas en un día en la muestra de estudio es mayor y una fracción α es menor. Por su parte, el VaR no es más que un cuantil de la función de distribución, que en el contexto financiero corresponde a la distribución de las pérdidas de una cartera, o un crédito, y en nuestro caso, a la radiación registrada. Naturalmente estaremos interesados en los cuantiles más bajos de esta distribución, que corresponden a los escenarios de poca generación, mientras que lo usual en finanzas es enfocarse en la cola derecha de la distribución de pérdidas que contiene, precisamente, las pérdidas más altas.

2.2. REGRESIÓN CUANTÍLICA

Consideremos una regresión tradicional en la que buscamos explicar una variable aleatoria y mediante unos factores $X = [x_1, x_2, \dots, x_k]$. En nuestro caso, la variable explicada, también conocida como variable dependiente, es la radiación solar, mientras que la matriz X contiene observaciones de tres variables climáticas: la temperatura, la velocidad del viento y un indicador de precipitación (todos influyen sobre la cantidad de nubes en la atmósfera). Indizaremos nuestras variables en el tiempo para denotar que las observaciones con las que trabajamos tienen una frecuencia temporal (son diarias). El modelo de regresión lineal clásico (MRL) en este caso se escribe como:

$$y_t = b_0 + b_1 x_{1t} + b_2 x_{2t} + \dots + b_k x_{kt} + e_t, \quad (2)$$

en donde b_0 es el intercepto de la regresión, b_i mide el efecto de la variable x_{it} sobre la variable y_t y e_t es un término de perturbación ruido blanco (con media cero y varianza constante) que recoge otros factores no considerados en el modelo y

además atestigua sobre la naturaleza estocástica del ejercicio de regresión. En este caso se debe enfatizar en que se trata de un análisis de *media a media*. En otras palabras, los b_i del modelo miden los efectos de cambios en el *valor medio* de los factores contenidos en sobre el *valor medio* de y . No obstante, cuando se trata de medir el riesgo de una decisión, o el riesgo de un evento, como el evento de muy poca generación, lo que nos interesa es el efecto de las variables X sobre *escenarios extremos* de la variable y , o dicho de otra forma, los efectos de cambios en los valores de X sobre *cuantiles muy bajos* de la distribución de la variable y .

En este caso, es más apropiada una regresión cuantílica, que se escribe como sigue:

$$q_{y,t}^{\alpha} = b_0(\alpha) + b_1(\alpha)x_{1t} + b_2(\alpha)x_{2t} + \dots + b_k(\alpha)x_{kt}, \quad (3)$$

en donde $q_{y,t}^{\alpha}$ es el cuantil α de la variable aleatoria y , mientras que los coeficientes $b_i(\alpha)$ miden el efecto de cambios en los factores climáticos en X sobre $q_{y,t}^{\alpha}$. Nótese que en este orden de ideas los efectos del clima sobre los diferentes cuantiles de la radiación pueden cambiar a lo largo de la función de distribución de esta última variable, conforme α transita desde valores cercanos a 0 hacia valores cercanos a 1.

2.3. VALOR EN RIESGO DEL VALOR EN RIESGO

Al contar con registros de variables climáticas y de radiación observada diarios, es posible estimar los *cuantiles diarios* de la función de distribución de la radiación condicional al clima. Tales cuantiles representarán entonces escenarios extremos de poca generación que se *hubiesen podido observar cada día*, de acuerdo con los registros del clima. No obstante, estas series temporales de cuantiles (VaR) cambian cada día y, por su parte, los contratos de seguro se pactan en intervalos de tiempo mayores que un día (un año, por ejemplo). En este punto es necesario contar un estadístico que nos permita saber cuál sería la mayor pérdida esperada diaria, dentro de las mayores pérdidas esperadas, con un nivel de confianza dado y durante un intervalo de tiempo amplio, como un año. Cuando la radiación observada fuese menor el valor estimado de tal estadístico, el seguro se activaría y el usuario podría acceder al pago contratado por el evento. En otras palabras,

necesitamos calcular un VaR del VaR. Para este fin se estima un cuantil bajo de las series de VaR obtenidas en el numeral anterior.

Formalmente, si definimos $\hat{q}_q^\theta = [\hat{q}_{y,1}^\alpha, \hat{q}_{y,2}^\alpha, \dots, \hat{q}_{y,r}^\alpha]$ como la serie que recoge los VaR estimados con anterioridad, tendremos que el VaR² se puede definir como:

$$VaR^2 = q_{\hat{q}}^\theta = F_{\hat{q}}^{-1}(\theta) = \inf[\hat{q}|F(\hat{q}) > \theta], \quad (4)$$

donde $q_{\hat{q}}^\theta$ es el cuantil θ -ésimo de los cuantiles considerados antes, $F_{\hat{q}} = Pr(\hat{q} \leq \hat{Q})$ es la función de distribución acumulada de la variable aleatoria \hat{q} , y $\theta \in (0,1)$. Si fijamos θ en un valor relativamente bajo, como 0,05, 0,10, etc., $q_{\hat{q}}^\theta$ será un escenario de riesgo hipotético (el peor de ellos con una probabilidad del θ %) dentro del conjunto de situaciones hipotéticas de riesgo, los cuales ocurren a su vez con una probabilidad de α %. Este concepto es atractivo toda vez que nos permite acceder a escenarios extremos de pérdidas basados fundamentalmente en los factores climáticos.

2.4. VALOR DE LA PÉRDIDA ESPERADA Y FIJACIÓN DE LA PRIMA

Una vez se obtiene el VaR^2 , solo resta utilizar esta información para establecer la prima de un producto de seguros que se comprometa a pagar el excedente de generación que no puede ser satisfecho por la autogeneración a través de los paneles solares los días en que la generación sea tan baja que quede incluso por debajo del VaR^2 . Para este fin, calcularemos el valor esperado del déficit de electricidad estimado de los días en que, durante la ventana de análisis, la radiación observada estuvo por debajo del VaR^2 , así:

$$ES = E[L|y \leq VaR^2], \quad (5)$$

donde L es el exceso de electricidad que es requerida por el hogar o la empresa, por encima de la autogeneración a través de los paneles solares. ES guarda cierta similitud con el concepto de VaR condicional en la literatura financiera (o pérdida esperada en las colas), pero, a diferencia de este último, está definida sobre L aun cuando se condiciona a la relación entre y y VaR^2 .

De forma más precisa tenemos que:

$$L_t = (N_t - G_t)P_t, \quad (6)$$

donde N_t es la necesidad diaria de electricidad del estudio (medida en kilovatios por hora, Kwh) y G_t es la generación diaria también en Kwh, con un nivel de radiación dado. Nótese que la transformación de la radiación observada en energía generada depende de las características precisas de la tecnología de generación (que considera factores tales como el área del panel, su eficiencia, su tasa de desempeño, etc.) y de las unidades del índice de radiación con el que se esté trabajando. Se trata de un cálculo sencillo que se resume en una fracción, la cual se utiliza para convertir las unidades de índice en unidades de Kwh. En nuestro caso, de forma ilustrativa, hemos fijado tal fracción en 0,02. Por su parte, las necesidades diarias de electricidad se pueden suponer o bien fijas o bien muy similares a lo largo del proyecto, y dependen claramente de quién contrata el seguro. En este documento hemos supuesto que siguen una distribución uniforme alrededor de un valor fijo.

Un último paso consiste en convertir el exceso de electricidad requerido por el proyecto, dado por $N_t - G_t$ en dinero, multiplicado por los precios de mercado P_t . Lo anterior quiere decir que aquella parte de la energía que no se logre generar deberá comprarse en el mercado a los precios vigentes el día en que se requiere.

Finalmente, para estimar el valor del seguro se contabiliza el número de eventos en los que y_t estuvo por debajo del VaR^2 , cuál fue el costo de cada evento y cuántos eventos se produjeron en proporción durante un año (suponiendo que la vigencia del contrato de seguros es a un año, y que cada año se consolidan los eventos y se realizan los pagos respectivos, en caso de haberse producido el siniestro de generación). Entonces la prima, P , estará dada por:

$$P = ES * \mu, \quad (7)$$

donde $\mu = \text{No. Eventos} * \frac{260}{T}$ y T es el tamaño de la muestra. μ es el número de eventos por año, y 260 corresponde al número de observaciones por año, que se reduce al no tener disponibilidad de precios para los fines de semana, en caso contrario se trabajaría con 365 días al año.

3. DATOS

Para los cálculos se utilizaron series diarias de radiación observada en tres latitudes distintas de España. Se escogieron las tres ciudades más grandes del país: Madrid (40,4168° N, 3,7038° W), Barcelona (41,3851° N, 2,1734° E) y Valencia (39,4699° N, 0,3763° W). Los datos fueron descargados de la página <http://www.soda-pro.com/> y son públicos. Los precios en bolsa de la electricidad en España, junto con la temperatura media, velocidad del tiempo y el indicador de precipitación fueron todos obtenidos de Bloomberg, con una frecuencia diaria desde el 2 de febrero de 2004 hasta el 22 de enero de 2019, para un total de 3885 observaciones, después de descartar 13 valores faltantes en los datos.

En la tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos de las series utilizadas. De arriba hacia abajo se encuentran el mínimo, el máximo, la mediada, la media y la desviación estándar de las series de radiación en Madrid, Barcelona y Valencia (columnas de la 1 a la 3), el precio de cierre, el precio medio, la temperatura media registrada en el día, la velocidad del viento y el indicador de precipitación. Como se puede observar, las series de radiación se mueven en rangos similares, pero la variación es mayor en Madrid que en las otras dos ciudades, al igual que la radiación media registrada durante la muestra. Debido a limitantes en la información disponible en Bloomberg se utilizaron series de temperatura, velocidad del viento y precipitaciones iguales en los tres casos (promedios nacionales), pero sería posible, acudiendo a mediciones de observatorios, refinar este cálculo utilizando series de clima distintas para cada ciudad.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las series utilizadas

	Madrid	Barcelona	Valencia	Precio C.	Precio M.	Temp.	Vel. Viento	Precipit.
Mínimo	4,59	3,59	4,59	0,00	0,00	2,26	2,54	0,00
Máximo	89,85	86,32	87,33	91,89	91,89	28,32	16,08	1543,27
Mediana	45,83	42,02	44,61	47,93	47,93	15,80	6,20	67,08
Media	47,06	44,16	45,98	47,28	47,28	16,08	6,38	144,93
D.E.	23,86	22,02	22,24	14,01	14,01	5,80	1,75	194,59

La muestra comprende 3885 observaciones, registradas desde el 2 de febrero de 2004 hasta el 22 de enero de 2019 [en MJ/m²].

4. RESULTADOS

Los resultados han sido divididos en tres secciones. La primera presenta las regresiones tradicionales que explican el valor medio de la radiación, mediante variaciones en los factores climáticos. El segundo grupo de regresiones contrastan las diferencias en los efectos de los factores climáticos sobre distintos escenarios de la radiación registrada (alta, media, baja) mediante regresiones cuantílicas. Finalmente, en la última subsección se presentan los estadísticos estimados que nos permiten fijar el valor de la prima de seguros para los proyectos de generación solar.

4.1. REGRESIONES MRL

En la tabla 2 se presentan los resultados de las regresiones lineales que explican la radiación mediante los tres factores climáticos listados con anterioridad: la temperatura, la velocidad del viento y el nivel de precipitación. Como se puede observar, al analizar los estadísticos t y F de cada una de las regresiones, en todos los casos las variables climáticas son estadísticamente significativas, lo cual quiere decir que aportan en la explicación de la radiación de forma significativa. Lo anterior se puede complementar observando el R-Cuadrado, R^2 , y el R-Cuadrado ajustado, R^2 ajustado, de los tres modelos. Ambos son estadísticos que miden el nivel de ajuste del modelo a la muestra de estudio. En los seis casos, estos estadísticos se encuentran entre el 54 y 61 %, lo que quiere decir que más de la mitad de la variación total en la radiación solar es explicada por la variación de estas tres variables climáticas.

En los tres casos podemos ver que el efecto de la temperatura y la velocidad del viento sobre la radiación observada es positivo, mientras que el de la pluviosidad es negativo. Esto quiere decir que mayores temperaturas están asociadas con mayor radiación registrada, lo cual es natural, y también que una mayor velocidad del viento está acompañada de mayor radiación. Por su parte, un mayor

indicador de lluvias está asociado con una menor radiación en la superficie terrestre. Nótese que los tres casos: mayor temperatura media en la tierra, más viento (i. e. mayor velocidad) y menores lluvias, todos son indicadores de menos nubes en la atmósfera que interfieran con la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre.

Los modelos lineales constituyen una primera aproximación para estudiar los efectos del clima sobre los montos diarios de radiación que tocan la superficie terrestre y, por tanto, permiten subrayar la importancia de las variables climáticas seleccionadas para el ejercicio de estimación de la prima del seguro, que precisamente está anclada a la modelización de tal radiación solar. No obstante, estos modelos no permiten analizar los escenarios extremos de poca generación que se producen, no en la media, sino en la cola izquierda de la distribución de la radiación solar registrada, que corresponde a los niveles de poca generación. Para tal fin es más conveniente utilizar regresiones cuantílicas, cuya idea general es la misma que la de las regresiones tradicionales, pero en lugar de explicar la dinámica de los niveles medios de radiación, explican diferentes cuantiles de la variable.

Tabla 2. Modelos de regresión lineal

Madrid				
	Coefficiente	Error estándar	Estadístico t	P-Valor
Intercepto	-7,59	1,15	-6,59	< 2e-16 ***
Temperatura	2,56	0,043	59,39	< 2e-16 ***
Velocidad del viento	3,14	0,15	21,06	< 2e-16 ***
Precipitación	-0,04	0,001	-31,79	< 2e-16 ***
	R2	R2 ajustado	Estadístico F	
	0,6083	0,608	2009	2,2e-16
Barcelona				
	Coefficiente	Error estándar	Estadístico t	P-Valor
Intercepto	-7,44	1,14	-6,51	8,46e-11 ***
Temperatura	2,35	0,04	55,10	< 2e-16 ***
Velocidad del viento	2,91	0,15	19,63	< 2e-16 ***
Precipitación	-0,033	0,001	-23,61	< 2e-16 ***
	R2	R2 ajustado	Estadístico F	
	0,5476	0,5473	1566	2,2e-16

Tabla 2. Modelos de regresión lineal (cont.)

Valencia				
	Coefficiente	Error estándar	Estadístico t	P-Valor
Intercepto	-4,40	1,17	-3,77	0,000169 ***
Temperatura	2,30	0,04	52,93	< 2e-16 ***
Velocidad del viento	2,89	0,15	19,1	< 2e-16 ***
Precipitación	-0,035	0,001	-24,95	< 2e-16 ***
	R2	R2 ajustado	Estadístico F	
	0,5375	0,5372	1504	2,2e-16

Nota: Niveles de significancia 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1.

En la tabla se presentan los resultados de las regresiones que explican la radiación registrada en la superficie terrestre en cada ciudad con las variables climáticas seleccionadas. La ecuación utilizada es la siguiente: $y_i = b_0 + b_1 \text{Temperatura}_i + b_2 \text{Velocidad_Viento}_i + \text{Precipitación}_i + e_i$. Un P-Valor menor a 0,01 indica que con un nivel de confianza estadística de 99 % se puede rechazar la hipótesis nula de no significancia del parámetro, lo que en otras palabras quiere decir que la variable climática que se encuentra listada en la primera columna de la tabla contribuye significativamente a explicar el nivel medio de radiación registrado en un día. El estadístico R2 indica el nivel de ajuste del modelo estadístico a los datos.

4.2. REGRESIONES CUANTÍLICAS

En las figuras 1 a 3 se presentan los efectos de la temperatura, la velocidad del viento y el nivel de lluvias sobre la radiación solar registrada en la superficie terrestre de las tres ciudades de la muestra de estudio. El período de estimación comprende los días entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019. El eje vertical en cada gráfico corresponde al valor del coeficiente estimado. Por ejemplo, el eje vertical del gráfico ubicado en el panel de la esquina superior izquierda en cada figura muestra el intercepto de la regresión, mientras que el eje vertical del gráfico en el panel de la esquina inferior derecha de cada figura contiene el coeficiente que mide el efecto de la lluvia sobre la radiación. En el eje horizontal, por su parte, se encuentra el cuantil específico para el que se estiman los efectos. Nótese que este eje comienza en un valor cercano a 0 y termina en un valor cercano a 1, ya que estos dos son los valores que limitan el intervalo posible del parámetro α en la regresión cuantílica (ver ecuación 3).

Por su parte, cada punto negro en los gráficos corresponde a una regresión cuantílica independiente, de forma tal que para construir los gráficos fue necesario estimar

95 regresiones para cada ciudad, variando el parámetro α entre 0,05 y 0,95, con pasos de longitud 0,01. La sombra gris alrededor de los puntos negros es el intervalo de confianza de las regresiones, construido mediante simulaciones (*bootstrapping*). Si esta sombra incluye el cero que está ubicado en el eje vertical, el punto asociado con ese cuantil específico es estadísticamente igual a cero (no hay efecto a la altura de ese cuantil de la variable de clima sobre la radiación). Si, por el contrario, la sombra deja por fuera el cero, el efecto es estadísticamente significativo. También se puede observar una línea sólida roja horizontal en cada gráfico, junto con dos líneas paralelas punteadas, una a cada lado. Estas líneas son, respectivamente, el coeficiente estimado que mide el efecto lineal del clima sobre la radiación y su intervalo de confianza (tal y como fueron reportados en la tabla 2). Una vez más, si el cero queda incluido entre las dos líneas punteadas significa que el efecto de esa variable climática sobre la radiación, estimado mediante el modelo MRL, es nulo.

Nótese que el efecto del modelo lineal es constante a través de los diferentes cuantiles, mientras que la regresión cuantílica permite describir una dinámica mucho más informativa, ya que los efectos del clima tienen permitido variar a lo largo de los cuantiles de la radiación solar registrada. También es posible observar en el gráfico que los efectos estimados mediante la regresión cuantílica y los de la regresión lineal son estadísticamente distintos entre sí. Esto ocurre cuando la línea roja queda por fuera de la sombra gris.

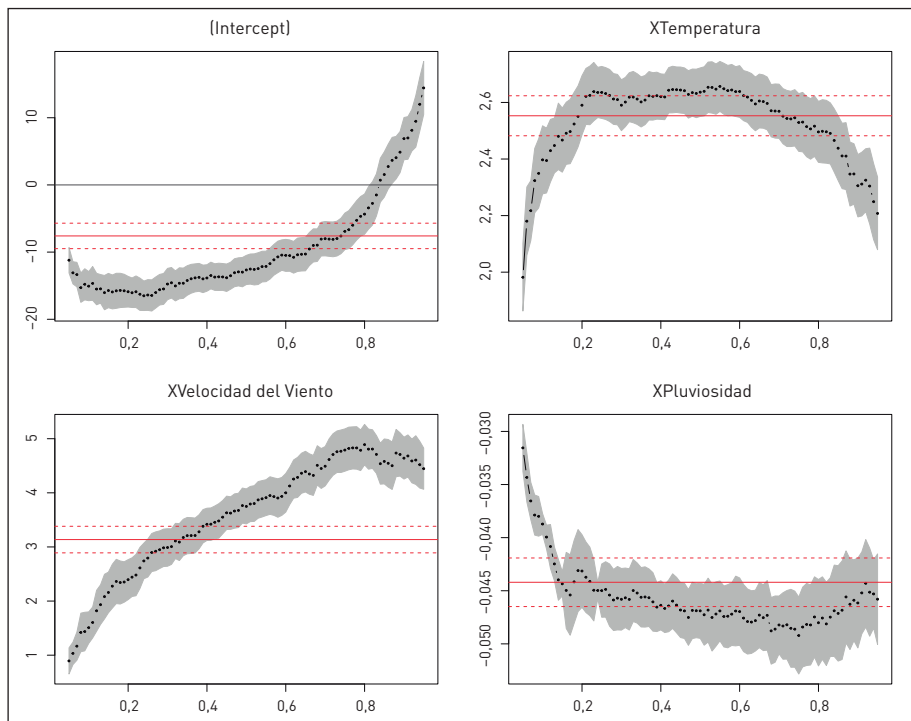
Como se espera, el intercepto de las regresiones cuantílicas en las tres figuras crece conforme se incrementa el cuantil de la variable explicada. Naturalmente, niveles más altos de radiación están asociados con interceptos más altos. No obstante, este incremento no es lineal, de hecho, a partir del cuantil 0,7, el intercepto de las regresiones se empieza a incrementar a una tasa más alta, lo cual quiere decir que la radiación acumulada no condicional al clima se acumula a una mayor tasa para los valores más altos de radiación.

Cuando observamos los subgráficos ubicados en la esquina superior derecha de cada figura, encontramos el efecto estimado de la temperatura media, registrada durante un día, sobre la radiación observada ese mismo día. El efecto es claramente no lineal en los tres casos, siendo menor cuando la radiación registrada es poca (por debajo del cuantil 0,2), y alcanza un máximo entre los cuantiles 0,2 y aproximadamente 0,8 (0,6

en el caso de Madrid), para luego descender nuevamente en los cuantiles más altos. Este comportamiento nos indica que es apropiado utilizar regresiones cuantílicas para calcular el VaR de la radiación, condicional a los factores climáticos, puesto que de esta forma se tiene en cuenta la variación en el valor de los coeficientes que se registra a lo largo de la distribución de probabilidad de la radiación solar.

Figura 1. Efecto de las variables climáticas sobre la radiación registrada en Madrid

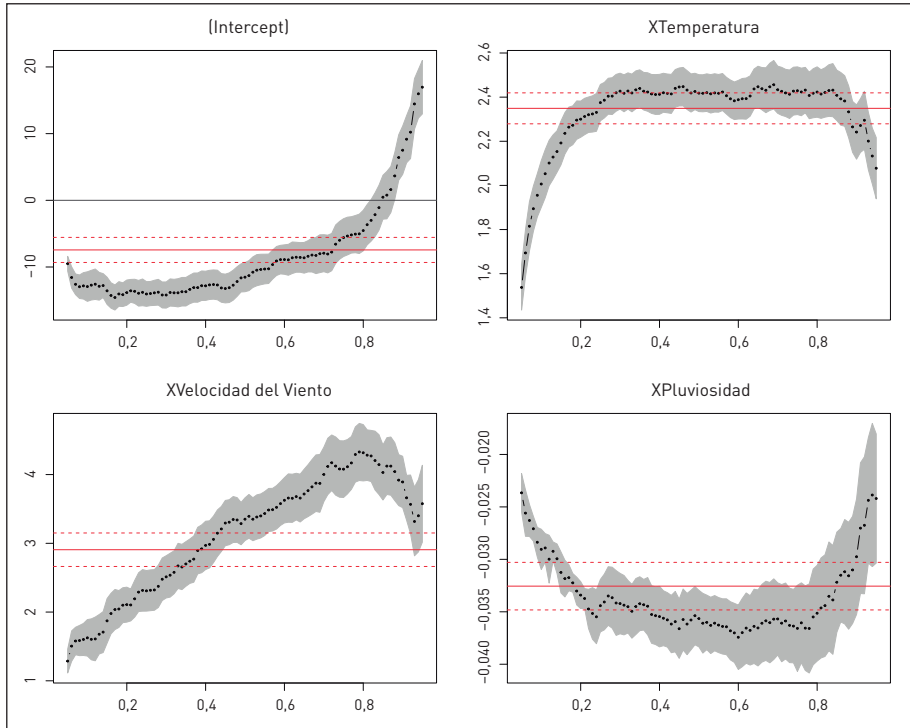
$$q_{y,t}^{\alpha=0.05} = b_0\alpha_{=,05} + b_1\alpha_{=,05} \text{Temperatura}_t + b_2\alpha_{=,05} \text{Velocidad_Viento}_t + b_3\alpha_{=,05} \text{Precipitación}_t + u_t$$



La figura muestra los efectos de la temperatura, la velocidad del viento y el nivel de lluvias sobre la radiación solar registrada en la superficie terrestre en Madrid, entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019. El eje vertical en cada gráfico corresponde al valor del coeficiente estimado. El eje horizontal muestra el cuantil específico para el que se estiman los efectos. Cada punto negro representa una regresión cuantílica independiente, variando el parámetro α entre 0,05 y 0,95, con pasos de longitud 0,01. La sombra gris alrededor de los puntos negros en cada gráfico es el intervalo de confianza construido mediante *bootstrapping*. También se puede observar una línea sólida roja horizontal en cada gráfico, junto a dos líneas paralelas punteadas. Estas líneas son, respectivamente, el coeficiente estimado que mide el efecto lineal del clima sobre la radiación y su respectivo intervalo de confianza (tal y como fueron reportados en la tabla 2).

Figura 2. Efecto de las variables climáticas sobre la radiación registrada en Barcelona

$$q_{y,t}^{\alpha=0,05} = b_0\alpha_{=,05} + b_1\alpha_{=,05}\text{Temperatura}_t + b_2\alpha_{=,05}\text{Velocidad_Viento}_t + b_3\alpha_{=,05}\text{Precipitación}_t + u_t$$



La figura muestra los efectos de la temperatura, la velocidad del viento y el nivel de lluvias sobre la radiación solar registrada en la superficie terrestre en Barcelona, entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019. El eje vertical en cada gráfico corresponde al valor del coeficiente estimado. El eje horizontal muestra el cuantil específico para el que se estiman los efectos. Cada punto negro representa una regresión cuantílica independiente, variando el parámetro α entre 0,05 y 0,95, con pasos de longitud 0,01. La sombra gris alrededor de los puntos negros en cada gráfico es el intervalo de confianza construido mediante *bootstrapping*. También se puede observar una línea sólida roja horizontal en cada gráfico, junto a dos líneas paralelas punteadas. Estas líneas son, respectivamente, el coeficiente estimado que mide el efecto lineal del clima sobre la radiación y su respectivo intervalo de confianza [tal y como fueron reportados en la tabla 2].

Los gráficos ubicados en la esquina inferior izquierda de cada figura muestran el efecto de la velocidad del viento sobre la radiación a lo largo de los cuantiles de esta última variable. En este caso, es posible identificar un patrón común en las tres ciudades analizadas: el efecto de la velocidad del viento se incrementa a

medida que el nivel de radiación registrada es más alto. Este incremento alcanza un máximo cerca del cuantil 0,75, y después, o bien se mantiene en el valor alcanzado, como en el caso de Madrid, o bien empieza a descender como ocurre en Barcelona y Valencia.

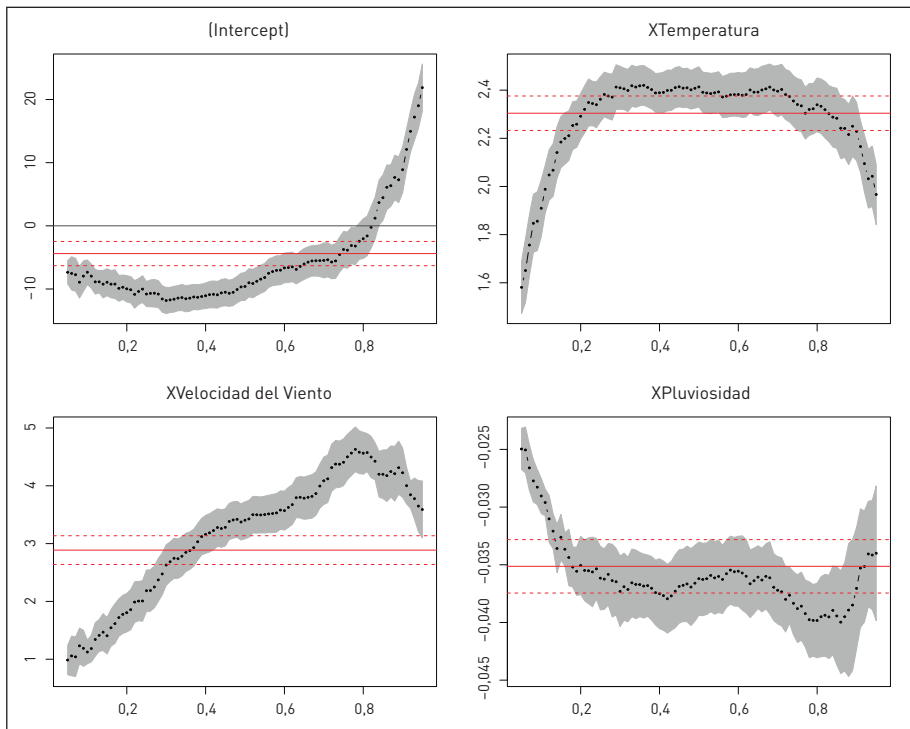
Por su parte, los efectos registrados en el panel de cada figura en la esquina inferior derecha muestran cómo afecta el nivel de pluviosidad a la cantidad de radiación observada. En este caso, ya que el efecto es negativo, a diferencia de los dos efectos analizados con anterioridad (asociados con la temperatura y la velocidad del viento), el coeficiente transita de menor a mayor en términos absolutos (se aleja del cero). A diferencia de los análisis anteriores, la dinámica es significativamente distinta en los tres casos. En Madrid el efecto se incrementa (en magnitud) a una tasa muy alta desde el origen hasta el cuantil 0,15, después de ese punto continúa incrementándose, aunque a una tasa menor, hasta aproximadamente el cuantil 0,7. Por su parte, en Barcelona la no linealidad del efecto es mucho más notable, configurando una forma de “u” con mínimos claros (en términos de la magnitud del efecto) en los cuantiles más altos y más bajos de la radiación, y con un máximo de efecto cerca del cuantil 0,7. En Valencia el impacto de la pluviosidad se incrementa regularmente hasta el cuantil 0,2 y se mantiene en ese nivel hasta el cuantil 0,7, para luego incrementarse nuevamente y alcanzar un máximo en el cuantil 0,9.

Al considerar de manera conjunta el efecto de las tres variables climáticas sobre la radiación registrada en la superficie terrestre, se concluye que el efecto de las variables climáticas es menor para los niveles más bajos de radiación, los cuales corresponden con los cuantiles más bajos de esta variable, generalmente por debajo de $\alpha = 0,2$. Lo anterior es intuitivo, ya que estos menores niveles de radiación están asociados con mayores distancias entre el sol y la superficie terrestre en esas coordenadas, como ocurre durante el invierno del hemisferio norte. De esta forma, los cambios climáticos que favorecen la aparición de más o menos nubes en la atmósfera no surten un efecto tan pronunciado durante el invierno, que es cuando condicionamos el análisis a los casos en los que precisamente el nivel de radiación ya es bajo, en comparación con el efecto que puede tener durante el verano. A manera de ejemplo, considérese un día de verano en el que el efecto de las nubes en la atmósfera sobre la radiación que pueda ser utilizada como insumo por el panel será muy alto, puesto que puede interferir en la cantidad de radiación

observada de una forma muy significativa, al estar el Sol más cerca de la Tierra en el punto de medición. Por otra parte, en invierno, si bien el efecto sigue existiendo, es claramente inferior y la radiación, además de ser baja, es menos sensible ante cambios en el clima.

Figura 3. Efecto de las variables climáticas sobre la radiación registrada en Valencia

$$q_{y,t}^{\alpha=0,05} = b_0\alpha_{=0,05} + b_1\alpha_{=0,05} \text{Temperatura}_t + b_2\alpha_{=0,05} \text{Velocidad_Viento}_t + b_3\alpha_{=0,05} \text{Precipitación}_t + u_t$$



La figura muestra los efectos de la temperatura, la velocidad del viento y el nivel de lluvias sobre la radiación solar registrada en la superficie terrestre en Valencia, entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019. El eje vertical en cada gráfico corresponde al valor del coeficiente estimado. El eje horizontal muestra el cuantil específico para el que se estiman los efectos. Cada punto negro representa una regresión cuantílica independiente, variando el parámetro α entre 0,05 y 0,95, con pasos de longitud 0,01. La sombra gris alrededor de los puntos negros en cada gráfico es el intervalo de confianza construido mediante *bootstrapping*. También se puede observar una línea sólida roja horizontal en cada gráfico, junto a dos líneas paralelas punteadas. Estas líneas son, respectivamente, el coeficiente estimado que mide el efecto lineal del clima sobre la radiación y su respectivo intervalo de confianza [tal y como fueron reportados en la tabla 2].

4.3. VALORES CRÍTICOS DE RIESGO Y PRIMA ANUAL

Condicionar el cálculo del valor en riesgo a las variables climáticas nos permite considerar de forma natural las estaciones meteorológicas dentro del análisis, así como identificar escenarios realistas en términos de generación que se pueden presentar en cada caso. En otras palabras, nos permite tener en cuenta que la situación más pesimista, en términos de generación eléctrica a través de paneles solares en el verano, sigue siendo mucho mejor que el escenario más pesimista (o incluso el más optimista) en un día de invierno.

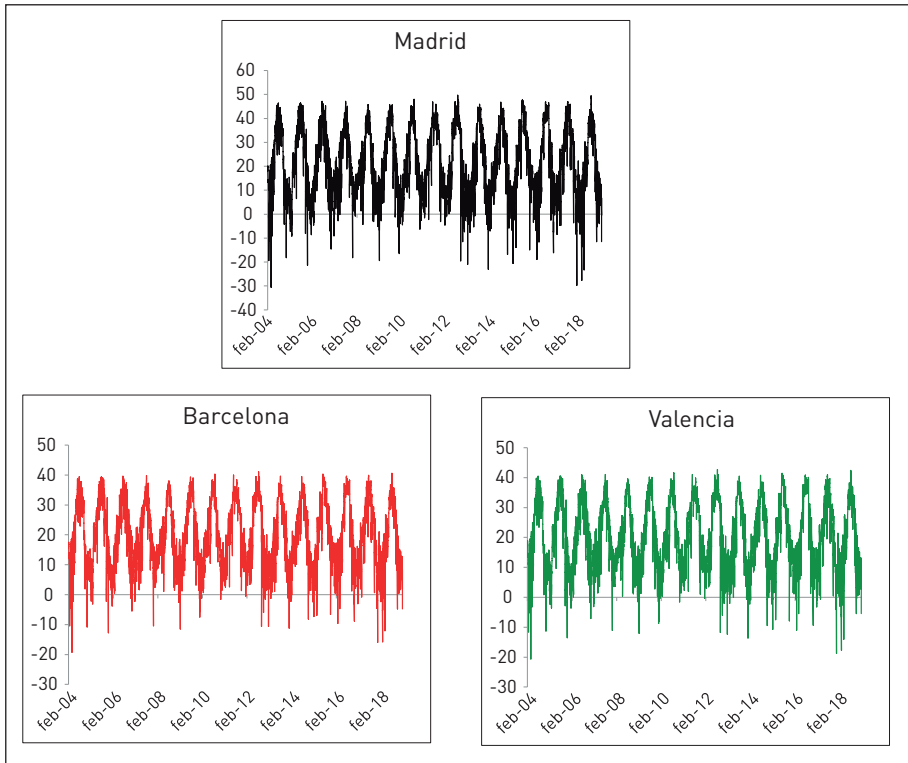
En las figuras 4 a 6 se presentan los cuantiles estimados en las tres ciudades de la radiación, fijando $\alpha = 0,1$. Las tres gráficas son muy similares entre ellas, con unos patrones estacionales marcados claramente. Se encuentran 14 picos en cada uno de los 14 inviernos que se han registrado entre febrero de 2004 y enero de 2019 para las tres ciudades.

En la tabla 3 se presentan algunos estadísticos descriptivos de la distribución de los excesos de demanda de electricidad valorados a precios de mercado: $L_t = (N_t - G_t) P_t$, que son utilizados para valorar el seguro. En la figura 5, por su parte, se presentan los histogramas de la distribución completa. Como se puede observar en los tres casos, la mayor parte de los datos simulados se refieren a excesos o déficits de electricidad generada, valorados en el rango entre -40 y 40 € al día. La variabilidad de los datos es mayor en Valencia que en las otras dos ciudades, y la mediana es muy cercana a 1 €/día en todos los casos.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los déficits de electricidad del proyecto

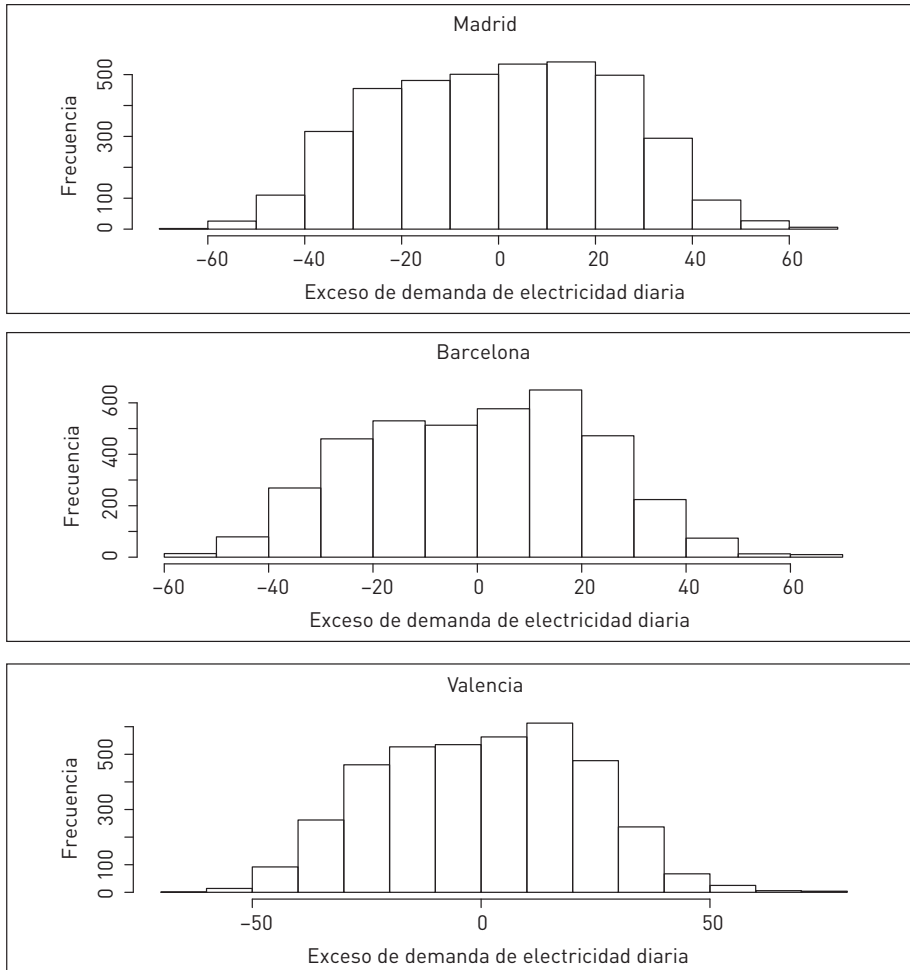
	Madrid	Barcelona	Valencia
Mínimo	-64,91	-59,35	-63,65
1 ^{er} cuartil	-18,46	-17,00	-17,19
Mediana	0,91	1,31	0,77
Media	0,16	0,36	0,32
3 ^{er} cuartil	18,94	17,34	17,58
Máximo	66,79	69,22	75,63

Figura 4. Percentil 5 ($\alpha = 0,1$) de la radiación condicionada a las variables climáticas



La figura muestra el VaR al 90 % de la cola izquierda de la distribución de la radiación, estimado para cada ciudad, con una frecuencia diaria entre el 2 de febrero de 2004 y el 22 de enero de 2019, y utilizando variables climáticas para condicionar el análisis de acuerdo con la siguiente fórmula $q_{y,t}^{\alpha=0,1} = b_{0\alpha=0,1} + b_{1\alpha=0,1} \text{Temperatura}_t + b_{2\alpha=0,1} \text{Velocidad_Viento}_t + b_{3\alpha=0,1} \text{Precipitación}_t + u_t$.

Figura 5. Exceso de electricidad simulada diaria requerida por el proyecto



La figura muestra el exceso de electricidad requerido por el proyecto cada día. Este valor fue simulado utilizando una distribución uniforme $U[a, b]$ para cada caso, con a igual a la media de la generación observada en esa ciudad, dada la tecnología, menos una constante arbitraria $\varepsilon = 0,01$, y b igual a la media más ε . Este procedimiento indica que las necesidades de generación son homogéneas a lo largo del proyecto, y que en promedio se espera que la tecnología empleada provea la mayor parte de la electricidad. Los valores negativos indican que en esas ocasiones la electricidad generada por el panel es mayor que la requerida (y el exceso se podría vender al resto de la red en principio). Un valor negativo indica un déficit de electricidad que deberá ser satisfecho con compras al resto de la red. Todo está en euros/Kwh, que son las unidades de los precios de bolsa consultados.

El siguiente paso consiste en identificar, dentro de estos escenarios adversos de generación, los más extremos. Es decir, aquellos en los que la radiación se esperaba que estuviera en los mínimos de acuerdo con la configuración climática. Para este fin, estimamos un cuantil bajo de las series de VaR reportadas en la figura 4. En este caso, a manera de ilustración, variaremos el parámetro θ en la ecuación 4 así $\theta = \{0,1, 0,05, 0,01, 0,005, 0,001\}$, de forma tal que nos enfocaremos en los escenarios extremos en el 10, 5, 1, 0,5 y 0,1 por cien de los casos, con lo que será posible observar el número de eventos registrados en la muestra, el valor medio de tales eventos y el precio asociado de la prima anual.

Como se puede apreciar en la tabla 4 en la página siguiente, el valor anual de la prima varía entre ciudades de acuerdo con dos criterios: el primero es el valor esperado del evento una vez la radiación cae por debajo de VaR^2 y el segundo es el número de eventos registrados en un año. Por otra parte, cabe anotar que el valor esperado del evento se incrementa al reducirse el parámetro θ .

Tabla 4. VaR² y cálculo de la prima

Madrid			
$\theta =$	No violaciones del VaR ²	Valor medio del evento ES	Valor anual de la prima
10 %	246	34,77 €	572,37 €
5 %	166	35,25 €	391,66€
1 %	74	35,83 €	177,47 €
0,5 %	27	35,39 €	63,95 €
0,1 %	6	41,55 €	16,69 €
Barcelona			
$\theta =$	No violaciones del VaR ²	Valor medio del evento ES	Valor anual de la prima
10 %	227	34,48 €	523,80 €
5 %	155	35,21 €	365,26 €
1 %	55	36,70 €	135,01 €
0,5 %	39	38,54 €	100,62 €
0,1 %	29	38,46 €	74,65 €
Valencia			
$\theta =$	No violaciones del VaR ²	Valor medio del evento ES	Valor anual de la prima
10 %	222	36,03 €	535,37 €
5 %	162	36,81 €	399,04 €
1 %	42	38,29 €	107,64 €
0,5 %	38	39,07 €	99,35 €
0,1 %	17	39,49 €	44,92 €

En la tabla se muestra de izquierda a derecha, el valor de θ utilizado en las simulaciones, de acuerdo con la ecuación 4, el número de violaciones del VaR², el valor medio del evento y el valor precio proporcional del seguro calculado siguiendo la ecuación 5.

5. CÁLCULO DE LOS BENEFICIOS DE DIVERSIFICACIÓN DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN DISTINTAS LATITUDES

Una inquietud frecuente desde la perspectiva de una empresa de seguros que busca ofrecer al mercado un producto de cobertura de riesgo asociado al clima, como el que se describió en las secciones anteriores, es la posibilidad de enfrentar situaciones de riesgo sistémico, o como se le conoce en la industria, riesgo de catástrofe. En nuestro caso, esta posibilidad es evidente por cuanto el clima, como factor subyacente que explica el riesgo, afecta a diferentes unidades (posibles contratantes del seguro) de forma simultánea, sobre todo cuando estas se encuentran ubicadas en áreas geográficas adyacentes. De la misma forma, es de crucial importancia para la empresa de seguros desarrollar algún mecanismo que le permita identificar el aporte proporcional al riesgo sistémico que significaría un cliente potencial dado, dependiendo de la latitud en la que se encuentre su actividad de generación eléctrica. Así sería posible gestionar mejor el riesgo global de la organización y a la vez fijar una prima que refleje adecuadamente los beneficios de diversificación reales que conlleva un cliente dado, dependiendo de la ubicación geográfica de su actividad.

En este apartado se propone una metodología desde una perspectiva puramente teórica que permite calcular el riesgo aportado por un contrato adicional a la compañía aseguradora. Cabe resaltar que, por un lado, el ejemplo que se expone hace uso de datos simulados de las necesidades de generación del proyecto, y por otro, se basa en tan solo tres unidades geográficas distintas. Esto impide sacar conclusiones definitivas de la implementación, que para tales efectos debería contar con un grupo de contratos mayor, posiblemente repartidos en muchas más unidades geográficas, y también debería estar basada en información real sobre las necesidades de electricidad de los contratantes. No obstante, el ejercicio aspira a convertirse en un punto de partida teórico, sobre el que las empresas aseguradoras se puedan apoyar para realizar el cálculo del riesgo asociado con un contrato de seguros contra eventos climáticos, que impidan la suficiente generación eléctrica como los que se exploran aquí.

El método ilustrado también nos permite generar un *ranking* de los clientes de acuerdo con su exposición al riesgo asociado al clima y el portafolio existente de clientes de la empresa aseguradora en un momento dado. De esta forma, es útil para las empresas de seguros, al brindarles nuevas herramientas para la gestión óptima de su cartera y para la toma de decisiones de reaseguro. Se trata de una adaptación de las medidas de CoVaR y Delta-CoVaR introducidas en la literatura de riesgo sistémico por Adrian y Brunnermeir (2016). En la siguiente subsección se presentan las metodologías adaptadas al contexto de generación eléctrica mediante paneles solares y en la sección 5.2 se muestra su aplicación para el caso de clientes ubicados en las tres latitudes de España explicadas en el apartado 3 de este documento.

5.1. MEDICIÓN DEL RIESGO SISTÉMICO Y LA CONTRIBUCIÓN DE CADA ENTIDAD

Adrian y Brunnermeir (2016) proponen una medida de riesgo sistémico para bancos, a la que denominan $\Delta CoVaR$, definida como el cambio en el valor en riesgo del sistema financiero, a condición de que una institución financiera se encuentre en una situación de relativo estrés financiero con respecto a su valor de estado mediano.

Estos autores proponen llevar a cabo la implementación empírica de su metodología siguiendo tres pasos:

1. *Estimar el valor en riesgo de cada institución financiera* mediante regresiones cuantílicas, utilizando algunas características con variación en el tiempo tales como: los cambios en los rendimientos de los títulos del tesoro americano a tres meses, los cambios en la pendiente de la curva de rendimientos de bonos de cupón cero, un margen de corto plazo entre la tasa LIBOR y una tasa del mercado secundario de deuda pública americana, cambios en el *spread* de crédito entre los bonos *Baa* y los bonos del Tesoro, el rendimiento de mercado, el rendimiento del sector hipotecario y la volatilidad de las acciones.

En particular los autores estiman la siguiente regresión:

$$X_t^i = \alpha_q^i + \gamma_q^i M_{t-1} + \varepsilon_{q,t}^i, \quad (8)$$

En la ecuación 8 los rendimientos de mercado de la institución financiera i , X_t^i se explican mediante los factores mencionados anteriormente, que se condensan en la matriz M_{t-1} (la cual se encuentra indexada en el período precedente, de forma tal que si se trabaja con semanas, se trata de la información recogida hasta la semana inmediatamente anterior). No obstante, la ecuación 8 no corresponde a una regresión tradicional, sino que se trata de una regresión cuantílica, similar a las que se explicaron en el apartado 2.2. de este documento, en particular después de la ecuación 3. Esta regresión lleva a estimaciones de los parámetros $\hat{\alpha}_q^i$, $\hat{\gamma}_q^i$, que son utilizados posteriormente para recuperar el valor en riesgo de cada institución financiera, en cada período, utilizando la siguiente fórmula:

$$VaR_{q,t}^i = \hat{\alpha}_q^i + \hat{\gamma}_q^i M_{t-1}, \quad (8)$$

2. *Estimar el valor en riesgo del sistema financiero*, condicional al desempeño de mercado de cada institución financiera, mediante regresiones cuantílicas.

Para este fin los autores plantean el siguiente modelo econométrico:

$$X_t^{system|i} = \alpha_q^{system|i} + \gamma_q^{system|i} M_{t-1} + \beta_q^{system|i} X_t^i + \varepsilon_{q,t}^{system|i}, \quad (9)$$

en donde $X_t^{system|i}$ son los rendimientos de una cartera de activos financieros que corresponden con el mercado y las demás variables están definidas como antes. La estimación mediante regresiones cuantílicas permite obtener los parámetros estimados $\hat{\alpha}_q^{system|i}$, $\hat{\gamma}_q^{system|i}$, $\hat{\beta}_q^{system|i}$, que al igual que en el primer paso son utilizados para estimar el valor en riesgo siguiendo esta vez la ecuación (10) a continuación:

$$CoVaR_{q,t}^i = \hat{\alpha}_q^{system|i} + \hat{\gamma}_q^{system|i} M_{t-1} + \hat{\beta}_q^{system|i} VaR_{q,t}^i, \quad (10)$$

Nótese que el $CoVaR_{q,t}^i$ en (10) está evaluado en el $VaR_{q,t}^i$ de la institución financiera, con lo cual se debe poner especial atención a su interpretación. Se trata del valor en riesgo del sistema, dado que la institución financiera i se encuentra atravesando una situación de estrés financiero, medida por su propio indicador de valor en riesgo.

3. Estimar el *aporte al riesgo sistémico de cada institución* en comparación con un escenario mediano de operación.

Finalmente, se calcula la contribución marginal de cada institución financiera al estrés generalizado del sistema (medido por el valor en riesgo del sistema en un momento determinado), con respecto a lo que sería su aporte al riesgo sistémico en períodos de regularidad financiera. Para lo anterior, se propone el siguiente procedimiento:

$$\Delta CoVaR_{q,t}^i = CoVaR_{q,t}^i - CoVaR_{50,t}^i, \quad (11)$$

$$\Delta CoVaR_{q,t}^i = \hat{\beta}_q^{system|i} (VaR_{q,t}^i - VaR_{50,t}^i), \quad (12)$$

en donde todo está definido como en los pasos 2 y 3, y el nuevo término al lado derecho de la ecuación 11, $CoVaR_{50,t}^i$, se refiere al CoVaR de la institución i calculado en la mediana de los rendimientos, mientras que el término $VaR_{50,t}^i$ en la ecuación 12 hace referencia al valor en riesgo de la institución i calculado en la mediana de los rendimientos de mercado. La interpretación de este estadístico es como sigue: $\Delta CoVaR_{q,t}^i$ mide el aporte al riesgo del sistema que hace la institución financiera i en el período t , que se produce al incrementarse el riesgo de la institución desde un escenario mediano de rendimientos, hasta el valor en riesgo calculado en un cuantil de pérdidas de la cartera relativamente alto. Para lo anterior, claramente es necesario que $q > 50$, es decir, las pérdidas se encuentren por encima de las registradas en la mediana de la operación.

5.2. MEDICIÓN DEL RIESGO SISTÉMICO Y LA CONTRIBUCIÓN DE CADA CLIENTE AL RIESGO DE BAJA GENERACIÓN DEBIDO AL CLIMA

En este apartado se adapta la metodología propuesta por Adrian y Brunnermeier (2016) para medir la contribución al riesgo de generación debido a factores climáticos que un cliente ubicado en cierta latitud representa para el total de clientes de una compañía de seguros. En este caso, el objeto de interés no es el rendimiento de mercado del sistema, o el rendimiento de cada institución financiera, sino la capacidad de generación, valorada a precios de mercado, del proyecto que

se desea asegurar. De esta forma se plantean los siguientes cuatro pasos para llevar a cabo el proceso.

1. *Estimar la generación del proyecto i valorada a precios de mercado en cada momento de tiempo.* Para este fin se deben usar los datos de generación que dependen de la radiación registrada en la superficie terrestre de la siguiente forma:

$$VG_t^i = G_t^i P_t, \quad (13)$$

donde G_t^i es la generación registrada por el proyecto i, dados los datos de radiación registrados en cada momento de tiempo en la muestra de estudio t. P_t son los correspondientes precios de mercado.

2. *Estimar el valor en riesgo de generación de cada proyecto en el portafolio.* Este paso es una adaptación del primero de la sección anterior, usando la definición de valor en riesgo que se introdujo en la sección 2. Para este fin, en lugar de utilizar variables de mercado, el valor de la generación dependerá de los factores climáticos explicados con anterioridad: temperatura, velocidad del viento y precipitación.

Se tiene entonces que:

$$\dot{X}_t^i = \alpha_q^i + \gamma_{1q}^i \text{Temperatura}_t + \gamma_{2q}^i \text{Velocidad_Viento}_t + \gamma_{3q}^i \text{Precipitación}_t + \dot{\varepsilon}_{q,t}^i, \quad (14)$$

en donde el valor en riesgo asociado al clima del proyecto i estará dado por:

$$\text{VaR}_{q,t}^i = \hat{\alpha}_q^i + \hat{\gamma}_{1q}^i \text{Temperatura}_t + \hat{\gamma}_{2q}^i \text{Velocidad_Viento}_t + \hat{\gamma}_{3q}^i \text{Precipitación}_t, \quad (15)$$

en donde las variables están definidas de la misma forma que antes. Nótese que a diferencia de la sección 2, ahora la variable al lado derecho de las ecuaciones 14 y 15 no es un cuantil de la radiación, sino un cuantil del valor de la generación, y por tanto \dot{X}_t^i corresponde al cuantil q de la variable VG_t^i . En nuestra aplicación empírica se hace $q = 5$, por lo que se trabaja con el 5 % de los valores de generación más bajos.

3. *Estimar el valor en riesgo del total de contratos, condicional al desempeño de cada proyecto de generación, mediante regresiones cuantílicas.*

Para este fin se plantea el siguiente modelo:

$$X_t^{total|i} = \alpha_q^{total|i} + \gamma_q^{total|i} F_t + \beta_q^{total|i} \dot{X}_t^i + \varepsilon_{q,t}^{total|i}, \quad (16)$$

en donde $X_t^{total|i}$ es el cuantil q del valor de la generación del total de los contratos, y se han condensado las tres variables climáticas en la matriz F_t . Las demás variables están definidas como antes. La estimación mediante regresiones cuantílicas permite obtener los parámetros estimados $\hat{\alpha}_q^{total|i}$, $\hat{\gamma}_q^{total|i}$, $\hat{\beta}_q^{total|i}$, que al igual que anteriormente son utilizados para estimar el valor en riesgo de la generación siguiendo esta vez la ecuación (17) a continuación:

$$A_{q,t}^i = \hat{\alpha}_q^{total|i} + \hat{\gamma}_q^{total|i} M_{t-1} + \hat{\beta}_q^{total|i} \dot{V}AR_{q,t}^i, \quad (17)$$

Nótese que el $A_{q,t}^i$ en se lee como el valor en riesgo de generación del total de los contratos a cargo de la compañía de seguros, dado que el proyecto de generación i se encuentra en una situación de baja generación, medida por su propio indicador de valor en riesgo $\dot{V}AR_{q,t}^i$.

4. *Estimar el aporte al riesgo total de cada proyecto de generación, en comparación con un escenario mediano de generación.*

Finalmente, se calcula la contribución marginal de cada proyecto de generación eléctrica al estrés generalizado de la compañía de seguros que mantiene los contratos, medido por el valor en riesgo del total de contratos, con respecto a lo que sería el aporte a la producción total de ese proyecto i en condiciones de regularidad climática. Para lo anterior se propone el siguiente procedimiento:

$$\Delta A_{q,t}^i = A_{q,t}^i - A_{50,t}^i, \quad (18)$$

$$\Delta A_{q,t}^i = \hat{\beta}_q^{system|i} (\dot{V}AR_{q,t}^i - \dot{V}AR_{50,t}^i), \quad (19)$$

en donde todo está definido de forma análoga a como se definió anteriormente, y el nuevo término al lado derecho de la ecuación 18, $A_{50,t}^i$, se refiere al CoVaR del proyecto i calculado en la mediana de los escenarios de generación, mientras que el término $VaR_{50,t}^i$ en la ecuación 19 hace referencia al valor en riesgo del proyecto i calculado en la mediana de los escenarios de generación.

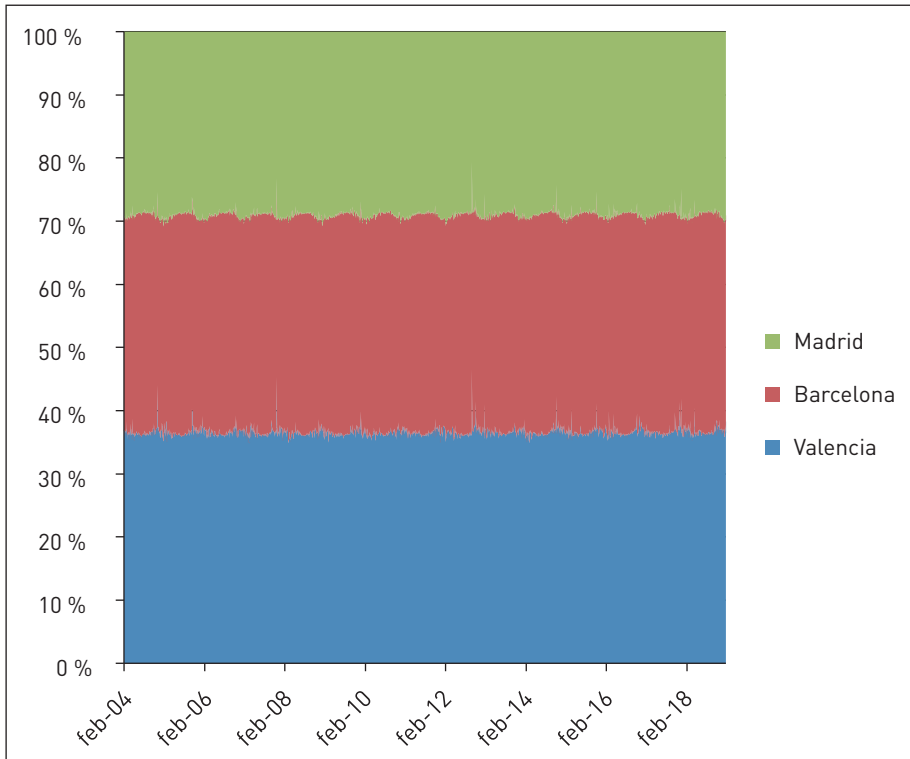
La interpretación de este estadístico es como sigue: $\Delta A_{q,t}^i$ mide el aporte al riesgo total de la compañía de seguros que supone asegurar el proyecto de generación i en el período t . Este aporte al riesgo se produce al incrementarse el riesgo del proyecto desde un escenario mediano de producción (condiciones climáticas regulares) hasta el valor en riesgo calculado en un cuantil de baja generación (debido a condiciones adversas del clima).

5.3. RESULTADOS

En la figura 6 se presenta el resultado del ejercicio suponiendo un total de contratos igual a tres (o un número de contratos N), con un contrato en cada ciudad: Valencia, Barcelona y Madrid, en las coordenadas exactas descritas en el apartado de datos de este documento, o alternativamente $1/3N$ de los contratos en cada coordenada. El ejercicio tiene varias limitaciones: 1) al tratarse de tres ciudades españolas, los beneficios de diversificación serán muy pocos, entre otras cosas porque la generación se vende a los mismos precios, y 2) por limitaciones en la información, se utilizan promedios nacionales para las variables de clima, por lo cual tales beneficios se reducen aún más.

En la figura 6 se han normalizado los aportes de cada proyecto de forma tal que se presenta la evolución del aporte al riesgo de generación de cada proyecto como un porcentaje del total. A mayor porcentaje, mayor es el aporte de cada proyecto en ese momento de tiempo al total del riesgo.

Figura 6. Aporte al riesgo de generación por variables climáticas de tres proyectos de generación localizados en Valencia, Barcelona y Madrid



Cada área muestra el aporte al riesgo total de baja generación de cada proyecto.

Como se puede observar, el aporte marginal al riesgo de generación de cada proyecto es relativamente constante a lo largo del tiempo, y está repartido de forma equitativa, con lo cual los beneficios de diversificación de los tres proyectos son pocos, y la posibilidad de riesgo sistémico es alta. Ante esta situación, convendría incluir dentro del portafolio de contratos proyectos que se ejecutasen en otras latitudes, por ejemplo, en Latinoamérica.

6. CONCLUSIONES Y POSIBLES EXTENSIONES

Este estudio presenta una metodología para el cálculo de la prima de un seguro que permite reducir el riesgo asociado con el clima de una tecnología de generación de electricidad con paneles solares. El producto está diseñado para pagar el excedente en el requerimiento de electricidad que se presente cuando la radiación solar que llegue a la superficie terrestre se encuentre por debajo de un cierto valor crítico, debido a configuraciones desfavorables del clima. Tal valor crítico sería acordado entre las partes. A manera ilustrativa, aquí se supuso que tal valor es un porcentaje entre el 0,1 y el 10 % de los escenarios de poca generación diarios (los que a su vez se calcularon como un cuantil condicional al clima del 10 %). En estos casos, el consumidor de electricidad (también generador) deberá conectarse a la red para suplir su exceso de demanda de electricidad, y pagar la misma a los precios vigentes en el mercado en ese momento (que con alta probabilidad serán altos, ya que una configuración desfavorable del clima para la generación es un evento generalizado que no solo afecta a al autogenerador en cuestión). Por su parte, en tales casos la empresa aseguradora se haría cargo del sobrecosto, y por ende es necesario estimar el valor esperado de tal evento.

La metodología se basa fundamentalmente en la modelización de la radiación solar registrada en un día sobre la superficie terrestre a través de tres factores climáticos. La razón de esto es que las series de radiación son públicas, mostradas por diferentes observatorios, de forma tal que sería relativamente sencillo contabilizar la ocurrencia de un evento que amerite el pago del seguro, si las cláusulas de pago quedan ancladas precisamente a los niveles de radiación. Adicionalmente, la radiación registrada no se ve afectada por los precios del mercado o la tecnología de generación, con lo cual es posible concentrar el seguro en eventos climáticos que pueden ser muy nocivos para la operación del autogenerador. No obstante, esta aplicación de la metodología es fácilmente entendible a otras tecnologías VRE como las turbinas de viento. En este caso, la variable de interés no sería la radiación solar sino naturalmente la velocidad del viento, que dejaría de ser tratado como un factor explicativo al lado derecho de las ecuaciones de los modelos

estimados, para convertirse en la variable explicada, ubicada al lado izquierdo en cada caso. Sería necesario igualmente establecer los factores climáticos relevantes necesarios para su modelización de forma tal que se garantice un amplio porcentaje de ajuste del modelo a los datos.

Finalmente, también se propone una metodología para llevar a cabo un *ranking* de los clientes de la compañía de seguros, de acuerdo con su exposición al riesgo asociado al clima, y el portafolio existente de contratos de la empresa aseguradora en un momento dado. El ejercicio es ilustrativo, cuyo objetivo es presentar la metodología de forma detallada, para que resulte sencilla su implementación por parte de cualquier empresa de seguros, de acuerdo con su mercado objetivo y sus propios datos. La metodología propuesta es una adaptación de las medidas de CoVaR y Delta-CoVaR propias de la literatura de riesgo sistémico bancario al caso de la generación eléctrica mediante paneles solares.

BIBLIOGRAFÍA

Adrian, T., Brunnermeir, M. (2016). CoVar, *American Economic Review* 106(7): 1705-1741.

Aquila, G., Rotela, P., de Oliveira, E., de Queiroz, A. (2017). Wind power feasibility analysis under uncertainty in the Brazilian electricity market, *Energy Economics*, 65: 127-136.

Cardoza, D., Uribe, J. M., Palacios, J. (2018). Risk analysis using meteorological weather factors in solar energy conversion systems, *DYNA*, 85(205): 98-104.

Gatzert, N., Kosub, T. (2016). Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore parks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 982-998.

Han, H., Linton, O., Oka, T., Whang, Y. J. (2016). The cross-quantilogram: Measuring quantile dependence and testing directional predictability between time series, *Journal of Econometrics*, 193: 251-270.

Hu, J., Harmsen, R., Crijns-Graus, W., Worell, E. (2018). Barriers to investment in utility-scale variable renewable electricity (VRE) generation projects. *Renewable Energy*, 121: 730-744.

Ioannou, A., Angus, A., Brennan, F. (2017). Risk-based methods for sustainable energy system: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74: 602-615.

Koenker, R. W. (2005). *Quantile Regression*, Cambridge University Press.

Koenker, R. W., Bassett, G. (1978). Regression Quantiles, *Econometrica*, 46: 33-50.

Kozlova, M. (2017). Real option valuation in renewable energy literature: Research focus, trends, and designs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80: 180-196.

Mosquera, S., Uribe, J. M., Manotas, D. (2017). Nonlinear empirical pricing in electricity markets using fundamental weather factors, *Energy*, 139(15): 594-605.

Mosquera, S., Uribe, J. M., Manotas, D. (2017). Risk asymmetries in hydrothermal power generation markets, *Electric Power Systems Research*, 147: 154-164.

Mosquera, S., Uribe, J. M., Manotas, D. (2018). Effect of stopping hydroelectric power generation on electricity prices: An event study approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94: 456-467.

Pinheiro, D., Domingues, E. G., Coimbra, A. P., de Almeida, A. T., Alves, A. J., Calixto, W. P. (2017). Portfolio optimization of renewable energy assets: Hydro, wind, and photovoltaic energy in the regulated market in Brazil, *Energy Economics*, 64: 238-250.

Steffen, B. (2018). The importance of project finance for renewable energy projects, *Energy Economics*, 69: 280-294.

Tomosk, S., Haysom, J. E., Wright, D. (2017). Quantifying economic risk in photovoltaic power projects. *Renewable Energy*, 109: 422-433.

ANEXO. CÓDIGOS

```
##### SEGUROS PARA UN MUNDO RENOVABLE Y SOSTENIBLE
```

```
#### AUTOR: JORGE M. URIBE
```

```
## Código para replicar figuras en el texto
```

```
##### PARTE II: Estimación de la Prima Individual
```

```
# Carga de Datos
```

```
rm(list=ls())
```

```
cat("\014")
```

```
library("quantreg") # Librería para la estimación de regresiones cuantílicas
```

```
library(readr)
```

```
load('DataMapfre.RData')
```

```
# Procesamiento de los Datos
```

```
data=data.matrix(DataSpain)
```

```
colnames(data)=c("Madrid","Barcelona","Valencia","PX_last","PX_ MID","Temperatura","Velocidad del Viento","Pluviosidad")
```

```
t=dim(data)[1]
```

```
n=dim(data)[2]
```

```
data2=matrix(NA,t,n)
```

```
data2=data
```

```
data2[,1:3]=data[,1:3]/1000000
```

```
##### Tabla 1: Estadísticos Descriptivos de las Series Utilizadas
```

```
Min=apply(data2,2,min)
```

```
Max=apply(data2,2,max)
```

```

Med=apply(data2,2,median)
Mean=apply(data2,2,mean)
Std=apply(data2,2,sd)
Tabla_1=t(matrix(c(Min,Max,Med,Mean,Std),8))

##### Tabla 2: Modelos de Regresión Lineal

# Regresiones tradicionales y cuantílicas

# Variablw Dependiente
Y1=data2[,"Madrid"]
Y2=data2[,"Barcelona"]
Y3=data2[,"Valencia"]

# Variables Explicativas
X= data[,6:8]

# Madrid
olsreg_1 <- lm(Y1~X)
summary(olsreg_1)
# Barcelona
olsreg_2 <- lm(Y2~X)
summary(olsreg_2)
# Valencia
olsreg_3 <- lm(Y3~X)
summary(olsreg_3)

# Modelos de Regresión Cuantílica Figuras 1-3

##### Figura 1: Madrid
quantreg_1 <- rq(Y1~X, tau=seq(0,05,0,95,0,01))
quantreg.plot_1=summary(quantreg_1)
plot(quantreg.plot_1)

```

```
##### Figura 2: Barcelona
quantreg_2 <- rq(Y2~X, tau=seq(0,05,0,95,0,01))
quantreg.plot_2=summary(quantreg_2)
plot(quantreg.plot_2)
```

```
##### Figura 3: Valencia
quantreg_3 <- rq(Y3~X, tau=seq(0,05,0,95,0,01))
quantreg.plot_3=summary(quantreg_3)
plot(quantreg.plot_3)
```

```
##### Figura 4:
```

```
# Madrid
res=rq(Y1~X, tau=0,1)
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res$coef[1]
b1=res$coef[2]
b2=res$coef[3]
b3=res$coef[4]
Q1=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(Q1)
```

```
# Barcelona
res=rq(Y2~X, tau=0,1)
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res$coef[1]
b1=res$coef[2]
b2=res$coef[3]
b3=res$coef[4]
Q2=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(Q2)
```



```

# Valencia
res=rq(Y3~X, tau=0,1)
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res$coef[1]
b1=res$coef[2]
b2=res$coef[3]
b3=res$coef[4]
Q3=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(Q3)

```

Figura 5

```

# Supuesto de Generación

```

```

G1=Y1*0,02

```

```

G2=Y2*0,02

```

```

G3=Y3*0,02

```

```

## Requerimientos del Proyecto Simulados

```

```

a1=mean(G1)-0,100000

```

```

b1=mean(G1)+0,100000

```

```

set.seed(1)

```

```

N1=runif(t,a1,b1)

```

```

a2=mean(G2)-0,100000

```

```

b2=mean(G2)+0,100000

```

```

set.seed(1)

```

```

N2=runif(t,a2,b2)

```

```

a3=mean(G3)-0,100000

```

```

b3=mean(G3)+0,100000

```

```

set.seed(1)

```

```

N3=runif(t,a3,b3)

```

```

# Yt=(Gt-Nt)Pt --> Pérdida Total

```

```

P=data[,5] # Precio en la Red Integrada
YY1=(N1-G1)*P # Transformación de Kw en Mw
YY2=(N2-G2)*P # Transformación de Kw en Mw
YY3=(N3-G3)*P #Transformación de Kw en Mw

hist(YY1,main="Madrid",
     xlab="Exceso de demanda de electricidad diaria",
     ylab="Frecuencia",cex.main=2, cex.lab=1,5)

hist(YY2,main="Barcelona",
     xlab="Exceso de demanda de electricidad diaria",
     ylab="Frecuencia",cex.main=2, cex.lab=1,5)

hist(YY3,main="Valencia",
     xlab="Exceso de demanda de electricidad diaria",
     ylab="Frecuencia",cex.main=2, cex.lab=1,5)

##### PARTE 2: Riesgo sistémico

# Generación de Electricidad en cada Ciudad => Yt_ciudad x Pt
Gen1=Y1*P
Gen2=Y2*P
Gen3=Y3*P

#Valor en Riesgo(VaR) asociado a cada ciudad

# VaR de la generación para Valencia
res1=rq(Gen3~X, tau=0,05) # VaR 5 %
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res1$coef[1]
b1=res1$coef[2]
b2=res1$coef[3]
b3=res1$coef[4]
e=res1$residuals

```

```
VaR_Val=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(VaR_Val)
```

```
res1=rq(Gen3~X, tau=0.5) # VaR 50 %
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res1$coef[1]
b1=res1$coef[2]
b2=res1$coef[3]
b3=res1$coef[4]
e=res1$residuals
VaR_Val_med=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(VaR_Val)
```

```
# VaR de la generación para Barcelona
res2=rq(Gen2~X, tau=0.05) # VaR 5 %
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res2$coef[1]
b1=res2$coef[2]
b2=res2$coef[3]
b3=res2$coef[4]
VaR_Bcn=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(VaR_Bcn)
```

```
res2=rq(Gen2~X, tau=0.5) # VaR 50 %
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res2$coef[1]
b1=res2$coef[2]
b2=res2$coef[3]
b3=res2$coef[4]
VaR_Bcn_med=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]
plot(VaR_Bcn_med)
```

```
# VaR de la generación para Madrid
```

```
res3=rq(Gen1~X, tau=0.05) # VaR 5 %  
ones=rep(1,3885)  
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)  
b0=res3$coef[1]  
b1=res3$coef[2]  
b2=res3$coef[3]  
b3=res3$coef[4]  
VaR_Mad=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]  
plot(VaR_Mad)
```

```
res3=rq(Gen1~X, tau=0.5) # VaR 50 %  
ones=rep(1,3885)  
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)  
b0=res3$coef[1]  
b1=res3$coef[2]  
b2=res3$coef[3]  
b3=res3$coef[4]  
VaR_Mad_med=b0*newdata[,1]+b1*newdata[,2]+b2*newdata[,3]+b3*newdata[,4]  
plot(VaR_Mad_med)
```

```
# VaR de la generación para el sistema dado Valencia
```

```
## VaR del Sistema
```

```
Gen_sys=0,1*Gen1+0,4*Gen2+0,5*Gen3
```

```
res=rq(Gen_sys~Gen3, tau=0,05)  
ones=rep(1,3885)  
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)  
b0=res$coef[1]  
b1=res$coef[2]  
# delta CoVaR de Valencia  
dVaR_val=VaR_Val-VaR_Val_med  
delta_CoVaR_Val=b1*dVaR_val
```

```

# VaR de la generación para el sistema dado Barcelona
res=rq(Gen_sys~Gen2, tau=0,05)
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res$coef[1]
b1=res$coef[2]
# delta CoVaR de Barcelona
dVaR_bcn=VaR_Bcn-VaR_Bcn_med
delta_CoVaR_Bcn=b1*dVaR_bcn

# VaR de la generación para el sistema dado Madrid
res=rq(Gen_sys~Gen1, tau=0,05)
ones=rep(1,3885)
newdata=matrix(c(ones,X),ncol=4)
b0=res$coef[1]
b1=res$coef[2]
# delta CoVaR de Valencia
dVaR_mad=VaR_Mad-VaR_Mad_med
delta_CoVaR_Mad=b1*dVaR_mad

### matrix con resultados de VeR de sistema

delta_CoVaR=matrix(c(delta_CoVaR_Val,delta_CoVaR_Bcn,delta_CoVaR_
Mad),ncol=3)*-1

```

COLECCIÓN “CUADERNOS DE LA FUNDACIÓN”

Para cualquier información sobre nuestras publicaciones consulte:
www.fundacionmapfre.org

- 231. Seguros para un mundo renovable y sostenible. 2020
- 230. Reforma da previdência social no Brasil: uma análise dos impactos da PEC 06/2019 sobre o RGPS. 2019
- 229. Las aplicaciones del *Big Data* en el ámbito asegurador y el tratamiento legal de sus datos. 2019
- 228. Otimização conjunta do capital baseado em risco e da carteira de ativos. 2019
- 227. Fundamentos de primas y reservas de fianzas y seguros de caución. Enfoque de Solvencia II. 2018
- 226. Determinantes de la performance de los fondos de pensiones. 2018
- 225. Estudio sobre el employer branding del sector Seguros en España. 2018
- 224. El impacto de Solvencia II en los grupos de entidades aseguradoras. 2018
- 223. Contributions to Risk Analysis: RISK. 2018
- 222. Individual Cancer Mortality Prediction. 2017
- 221. Defensa jurídica y dolo del asegurado en el seguro de responsabilidad civil. 2017

220. El proceso precontractual en el contrato de seguro: nuevo marco jurídico. 2017
219. Teoría de cópulas. Introducción y aplicaciones a Solvencia II. 2017
218. Cualificación profesional del actuario. Estudio internacional comparado. 2016
217. El seguro de responsabilidad civil derivada de la navegación de buques. 2016
216. El impacto de las últimas reformas en materia de jubilación: envejecimiento activo, sostenibilidad financiera y planes de pensiones. 2016
215. Previsión complementaria empresarial: estudio comparado internacional 2016
214. Normas sobre protección de los derechos de los consumidores en el contrato de seguro en Chile. 2016
213. *Gamificación*: un modelo de fomento y gestión de comportamientos deseados en las relaciones entre individuos y organizaciones. 2015
212. Modelo de gestión integral para el sector atunero. 2015
211. Opções embutidas em planos *unit-linked*s brasileiros: avaliação sob a medida de probabilidade real. 2015
210. El enfoque de Solvencia II para las pensiones ocupacionales españolas. 2015
209. El seguro privado de obras de arte. 2015
208. Defi y medición de la cultura aseguradora. Aplicación al caso español. 2015
207. Tipos de interés para valorar las provisiones técnicas de seguros. 2015

206. Teledetección aplicada a la elaboración de mapas de peligrosidad de granizo en tiempo real y mapas de daños en cultivos e infraestructuras. 2015
205. Current Topics on Risk Analysis: ICRA6 and Risk 2015 Conference. 2015
204. Determinantes do Premio de Default de (Res)seguradores. 2014
203. Generación de escenarios económicos para la medición de riesgos de mercado en Solvencia II a través de modelos de series temporales. 2014
202. Valoración de los inmuebles del patrimonio histórico y los riesgos sísmicos en el contrato de seguro: el caso de Lorca. 2014
201. Inteligencia computacional en la gestión del riesgo asegurador: operadores de agregación OWA en proceso de tarificación. 2014
200. El componente transfronterizo de las relaciones aseguradoras. 2014
199. El seguro basado en el uso (Usage Based Insurance). 2014
198. El seguro de decesos en la normativa aseguradora. Su encaje en Solvencia II. 2014
197. El seguro de responsabilidad civil en el arbitraje. 2014
196. La reputación corporativa en empresas aseguradoras: análisis y evaluación de factores explicativos. 2014
195. La acción directa del perjudicado en el ordenamiento jurídico comunitario. 2013
194. Investigaciones en Seguros y Gestión del Riesgo: RIESGO 2013
193. Viability of Patent Insurance in Spain. 2013

192. Viabilidad del seguro de patentes en España. 2013
191. Determinación de zonas homogéneas de riesgo para los rendimientos de distintos cultivos de la región pampeana en Argentina. 2013
190. Género y promoción en los sectores financiero y asegurador. 2013
189. An Introduction to Reinsurance. 2013
188. El control interno y la responsabilidad penal en la mediación de seguros privados. 2013
187. Una introducción al gobierno corporativo en la industria aseguradora en América Latina. 2013
186. Mortalidad de jóvenes en accidentes de tráfico. 2012
185. Las reclamaciones derivadas de accidentes de circulación por carretera transfronterizos. 2012
184. Efecto disuasorio del tipo de contrato sobre el fraude. 2012
183. Claves del Seguro Español: una aproximación a la Historia del Seguro en España. 2012
182. La responsabilidad civil del asegurador de asistencia sanitaria. 2012
181. Colaboración en el contrato de Reaseguro. 2012
180. Origen, situación actual y futuro del seguro de Protección Jurídica. 2012
179. Experiencias de microseguros en Colombia, Perú y Brasil. Modelo socio agente. 2012
178. El agente de seguros y su Responsabilidad Civil. 2012

177. Riesgo operacional en el marco de Solvencia II. 2012
176. Un siglo de seguros marítimos barceloneses en el comercio con América. (1770-1870). 2012
175. El seguro de Caución. 2012
174. La contabilidad de los corredores de seguros y los planes y fondos de pensiones. 2012
173. El seguro de Vida en América Latina. 2011
172. Gerencia de riesgos sostenibles y Responsabilidad Social Empresarial en la entidad aseguradora. 2011
171. Investigaciones en Seguros y Gestión del Riesgo. RIESGO 2011
170. Introdução ao Resseguro. 2011
169. La salud y su aseguramiento en Argentina, Chile, Colombia y España. 2011
168. Diferencias de sexo en conductas de riesgo y tasa de mortalidad diferencial entre hombres y mujeres. 2011
167. Movilización y rescate de los compromisos por pensiones garantizados mediante contrato de seguros. 2011
166. Embedded Value aplicado al ramo No Vida. 2011
165. Las sociedades cautivas de Reaseguro. 2011
164. Daños del amianto: litigación, aseguramiento de riesgos y fondos de compensación. 2011

163. El riesgo de tipo de interés: experiencia española y Solvencia II. 2011
162. I Congreso sobre las Nuevas Tecnologías y sus repercusiones en el Seguro: Internet, Biotecnología y Nanotecnología. 2011
161. La incertidumbre bioactuarial en el riesgo de la longevidad. Reflexiones bioéticas. 2011
160. Actividad aseguradora y defensa de la competencia. La exención antitrust del sector asegurador. 2011
159. Estudio empírico sobre la tributación de los seguros de vida. 2010
158. Métodos estocásticos de estimación de las provisiones técnicas en el marco de Solvencia II. 2010
157. Introducción al Reaseguro. 2010
156. Encuentro Internacional sobre la Historia del Seguro. 2010
155. Los sistemas de salud en Latinoamérica y el papel del seguro privado. 2010
154. El Seguro de Crédito en Chile. 2010
153. El análisis financiero dinámico como herramienta para el desarrollo de modelos internos en el marco de Solvencia II. 2010
152. Características sociodemográficas de las personas con doble cobertura sanitaria. Un estudio empírico. 2010
151. Solidaridad impropia y seguro de Responsabilidad Civil. 2010
150. La prevención del blanqueo de capitales en las entidades aseguradoras, las gestoras y los corredores de seguros 2010

149. Fondos de aseguramiento agropecuario y rural: la experiencia mexicana en el mutualismo agropecuario y sus organizaciones superiores. 2010
148. Avaliação das Provisões de Sinistro sob o Enfoque das Novas Regras de Solvência do Brasil. 2010
147. El principio de igualdad sexual en el Seguro de Salud: análisis actuarial de su impacto y alcance. 2010
146. Investigaciones históricas sobre el Seguro español. 2010
145. Perspectivas y análisis económico de la futura reforma del sistema español de valoración del daño corporal. 2009
144. Contabilidad y Análisis de Cuentas Anuales de Entidades Aseguradoras (Plan contable 24 de julio de 2008). 2009
143. Mudanças Climáticas e Análise de Risco da Indústria de Petróleo no Litoral Brasileiro. 2009
142. Bases técnicas dinámicas del Seguro de Dependencia en España. Una aproximación en campo discreto. 2009
141. Transferencia Alternativa de Riesgos en el Seguro de Vida: Titulización de Riesgos Aseguradores. 2009
140. Riesgo de negocio ante asegurados con múltiples contratos. 2009
139. Optimización económica del Reaseguro cedido: modelos de decisión. 2009
138. Inversiones en el Seguro de Vida en la actualidad y perspectivas de futuro. 2009
137. El Seguro de Vida en España. Factores que influyen en su progreso. 2009
136. Investigaciones en Seguros y Gestión de Riesgos. RIESGO. 2009

135. Análisis e interpretación de la gestión del fondo de maniobra en entidades aseguradoras de incendio y lucro cesante en grandes riesgos industriales. 2009
134. Gestión integral de Riesgos Corporativos como fuente de ventaja competitiva: cultura positiva del riesgo y reorganización estructural. 2009
133. La designación de la pareja de hecho como beneficiaria en los seguros de vida. 2009
132. Aproximación a la Responsabilidad Social de la empresa: reflexiones y propuesta de un modelo. 2009
131. La cobertura pública en el seguro de crédito a la exportación en España: cuestiones prácticas-jurídicas. 2009
130. La mediación en seguros privados: análisis de un complejo proceso de cambio legislativo. 2009
129. Temas relevantes del Derecho de Seguros contemporáneo. 2009
128. Cuestiones sobre la cláusula cut through. Transferencia y reconstrucción. 2008
127. La responsabilidad derivada de la utilización de organismos genéticamente modificados y la redistribución del riesgo a través del seguro. 2008
126. Ponencias de las Jornadas Internacionales sobre Catástrofes Naturales. 2008
125. La seguridad jurídica de las tecnologías de la información en el sector asegurador. 2008
124. Predicción de tablas de mortalidad dinámicas mediante un procedimiento bootstrap. 2008

123. Las compañías aseguradoras en los procesos penal y contencioso-administrativo. 2008
122. Factores de riesgo y cálculo de primas mediante técnicas de aprendizaje. 2008
121. La solicitud de seguro en la Ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro. 2008
120. Propuestas para un sistema de cobertura de enfermedades catastróficas en Argentina. 2008
119. Análisis del riesgo en seguros en el marco de Solvencia II: Técnicas estadísticas avanzadas Monte Carlo y Bootstrapping. 2008
118. Los planes de pensiones y los planes de previsión asegurados: su inclusión en el caudal hereditario. 2007
117. Evolução de resultados técnicos e financeiros no mercado segurador iberoamericano. 2007
116. Análisis de la Ley 26/2006 de Mediación de Seguros y Reaseguros Privados. 2007
115. Sistemas de cofinanciación de la dependencia: seguro privado frente a hipoteca inversa. 2007
114. El sector asegurador ante el cambio climático: riesgos y oportunidades. 2007
113. Responsabilidade social empresarial no mercado de seguros brasileiro influências culturais e implicações relacionais. 2007
112. Contabilidad y análisis de cuentas anuales de entidades aseguradoras. 2007

111. Fundamentos actuariales de primas y reservas de fianzas. 2007
110. El Fair Value de las provisiones técnicas de los seguros de Vida. 2007
109. El Seguro como instrumento de gestión de los M.E.R. (Materiales Especificados de Riesgo). 2006
108. Mercados de absorción de riesgos. 2006
107. La exteriorización de los compromisos por pensiones en la negociación colectiva. 2006
106. La utilización de datos médicos y genéticos en el ámbito de las compañías aseguradoras. 2006
105. Los seguros contra incendios forestales y su aplicación en Galicia. 2006
104. Fiscalidad del seguro en América Latina. 2006
103. Las NIC y su relación con el Plan Contable de Entidades Aseguradoras. 2006
102. Naturaleza jurídica del Seguro de Asistencia en Viaje. 2006
101. El Seguro de Automóviles en Iberoamérica. 2006
100. El nuevo perfil productivo y los seguros agropecuarios en Argentina. 2006
99. Modelos alternativos de transferencia y financiación de riesgos "ART": situación actual y perspectivas futuras. 2005
98. Disciplina de mercado en la industria de seguros en América Latina. 2005
97. Aplicación de métodos de inteligencia artificial para el análisis de la solvencia en entidades aseguradoras. 2005

96. El Sistema ABC-ABM: su aplicación en las entidades aseguradoras. 2005
95. Papel del docente universitario: ¿enseñar o ayudar a aprender? 2005
94. La renovación del Pacto de Toledo y la reforma del sistema de pensiones: ¿es suficiente el pacto político? 2005
92. Medición de la esperanza de vida residual según niveles de dependencia en España y costes de cuidados de larga duración. 2005
91. Problemática de la reforma de la Ley de Contrato de Seguro. 2005
90. Centros de atención telefónica del sector asegurador. 2005
89. Mercados aseguradores en el área mediterránea y cooperación para su desarrollo. 2005
88. Análisis multivariante aplicado a la selección de factores de riesgo en la tarificación. 2004
87. Dependencia en el modelo individual, aplicación al riesgo de crédito. 2004
86. El margen de solvencia de las entidades aseguradoras en Iberoamérica. 2004
85. La matriz valor-fidelidad en el análisis de los asegurados en el ramo del automóvil. 2004
84. Estudio de la estructura de una cartera de pólizas y de la eficacia de un Bonus-Malus. 2004
83. La teoría del valor extremo: fundamentos y aplicación al seguro, ramo de responsabilidad civil autos. 2004
81. El Seguro de Dependencia: una visión general. 2004

80. Los planes y fondos de pensiones en el contexto europeo: la necesidad de una armonización. 2004
79. La actividad de las compañías aseguradoras de vida en el marco de la gestión integral de activos y pasivos. 2003
78. Nuevas perspectivas de la educación universitaria a distancia. 2003
77. El coste de los riesgos en la empresa española: 2001.
76. La incorporación de los sistemas privados de pensiones en las pequeñas y medianas empresas. 2003
75. Incidencia de la nueva Ley de Enjuiciamiento Civil en los procesos de responsabilidad civil derivada del uso de vehículos a motor. 2002
74. Estructuras de propiedad, organización y canales de distribución de las empresas aseguradoras en el mercado español. 2002
73. Financiación del capital-riesgo mediante el seguro. 2002
72. Análisis del proceso de exteriorización de los compromisos por pensiones. 2002
71. Gestión de activos y pasivos en la cartera de un fondo de pensiones. 2002
70. El cuadro de mando integral para las entidades aseguradoras. 2002
69. Provisiones para prestaciones a la luz del Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados; métodos estadísticos de cálculo. 2002
68. Los seguros de crédito y de caución en Iberoamérica. 2001
67. Gestión directiva en la internacionalización de la empresa. 2001

65. Ética empresarial y globalización. 2001
64. Fundamentos técnicos de la regulación del margen de solvencia. 2001
63. Análisis de la repercusión fiscal del seguro de vida y los planes de pensiones. Instrumentos de previsión social individual y empresarial. 2001
62. Seguridad Social: temas generales y régimen de clases pasivas del Estado. 2001
61. Sistemas Bonus-Malus generalizados con inclusión de los costes de los siniestros. 2001
60. Análisis técnico y económico del conjunto de las empresas aseguradoras de la Unión Europea. 2001
59. Estudio sobre el euro y el seguro. 2000
58. Problemática contable de las operaciones de reaseguro. 2000
56. Análisis económico y estadístico de los factores determinantes de la demanda de los seguros privados en España. 2000
54. El corredor de reaseguros y su legislación específica en América y Europa. 2000
53. Habilidades directivas: estudio de sesgo de género en instrumentos de evaluación. 2000
52. La estructura financiera de las entidades de seguros, S.A. 2000
51. Seguridades y riesgos del joven en los grupos de edad. 2000
50. Mixturas de distribuciones: aplicación a las variables más relevantes que modelan la siniestralidad en la empresa aseguradora. 1999

49. Solvencia y estabilidad financiera en la empresa de seguros: metodología y evaluación empírica mediante análisis multivariante. 1999
48. Matemática Actuarial no vida con MapleV. 1999
47. El fraude en el Seguro de Automóvil: cómo detectarlo. 1999
46. Evolución y predicción de las tablas de mortalidad dinámicas para la población española. 1999
45. Los Impuestos en una economía global. 1999
42. La Responsabilidad Civil por contaminación del entorno y su aseguramiento. 1998
41. De Maastricht a Amsterdam: un paso más en la integración europea. 1998
39. Perspectiva histórica de los documentos estadístico-contables del órgano de control: aspectos jurídicos, formalización y explotación. 1997
38. Legislación y estadísticas del mercado de seguros en la comunidad iberoamericana. 1997
37. La responsabilidad civil por accidente de circulación. Puntual comparación de los derechos francés y español. 1997
36. Cláusulas limitativas de los derechos de los asegurados y cláusulas delimitadoras del riesgo cubierto: las cláusulas de limitación temporal de la cobertura en el Seguro de Responsabilidad Civil. 1997
35. El control de riesgos en fraudes informáticos. 1997
34. El coste de los riesgos en la empresa española: 1995
33. La función del derecho en la economía. 1997

32. Decisiones racionales en reaseguro. 1996
31. Tipos estratégicos, orientación al mercado y resultados económicos: análisis empírico del sector asegurador español. 1996
30. El tiempo del directivo. 1996
29. Ruina y Seguro de Responsabilidad Civil Decenal. 1996
28. La naturaleza jurídica del Seguro de Responsabilidad Civil. 1995
27. La calidad total como factor para elevar la cuota de mercado en empresas de seguros. 1995
26. El coste de los riesgos en la empresa española: 1993
25. El reaseguro financiero. 1995
24. El seguro: expresión de solidaridad desde la perspectiva del derecho. 1995
23. Análisis de la demanda del seguro sanitario privado. 1993
22. Rentabilidad y productividad de entidades aseguradoras. 1994
21. La nueva regulación de las provisiones técnicas en la Directiva de Cuentas de la C.E.E. 1994
20. El Reaseguro en los procesos de integración económica. 1994
19. Una teoría de la educación. 1994
18. El Seguro de Crédito a la exportación en los países de la OCDE (evaluación de los resultados de los aseguradores públicos). 1994

16. La legislación española de seguros y su adaptación a la normativa comunitaria. 1993
15. El coste de los riesgos en la empresa española: 1991
14. El Reaseguro de exceso de pérdidas 1993
12. Los seguros de salud y la sanidad privada. 1993
10. Desarrollo directivo: una inversión estratégica. 1992
9. Técnicas de trabajo intelectual. 1992
8. La implantación de un sistema de controlling estratégico en la empresa. 1992
7. Los seguros de responsabilidad civil y su obligatoriedad de aseguramiento. 1992
6. Elementos de dirección estratégica de la empresa. 1992
5. La distribución comercial del seguro: sus estrategias y riesgos. 1991
4. Los seguros en una Europa cambiante: 1990-95. 1991
2. Resultados de la encuesta sobre la formación superior para los profesionales de entidades aseguradoras (A.P.S.). 1991
1. Filosofía empresarial: selección de artículos y ejemplos prácticos. 1991

LIBROS

Diccionario MAPFRE de SEGUROS. 2019

La Responsabilidad Civil en el ámbito de los ciberriesgos. 2017 Longevidad y envejecimiento en el tercer milenio. 2017

El Ahorro en perspectiva histórica. 2016

Lo bueno, si breve... Microrrelatos de Seguros. 2016

The risk of longevity and its practical application to Solvency II. 2015

Historia de FIDES –Federación Interamericana de Empresas de Seguros. 2015 El riesgo de longevidad y su aplicación práctica a Solvencia II. 2014

Historia del Seguro en España. 2014

Actas del III Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías: sus repercusiones en el seguro: internet, biotecnología y nanotecnología: 12 y 13 de noviembre de 2012, Santiago de Chile. 2013

Emergencia y reconstrucción: el antes y después del terremoto y tsunami del 27F en Chile. 2012

Riesgo sistémico y actividad aseguradora. 2012 La historia del seguro en Chile (1810-2010). 2012

Modelo de proyección de carteras de seguros para el ramo de decesos. 2011
Desarrollo comercial del seguro colectivo de dependencia en España. 2010

La mediación de seguros en España: análisis de la Ley 26/2006, de Mediación de Seguros y Reaseguros Privados. 2010

Museo del Seguro. Catálogo. 2010

Teoría de la credibilidad: desarrollo y aplicaciones en primas de seguros y riesgos operacionales. 2008

El seguro de caución: una aproximación práctica. 2007 El seguro de pensiones. 2007

Las cargas del acreedor en el seguro de responsabilidad civil. 2006

Diccionario bilingüe de expresiones y términos de seguros: inglés-español, español-inglés. 2006

El seguro de riesgos catastróficos: reaseguro tradicional y transferencia alternativa de riesgos. 2005

La liquidación administrativa de entidades aseguradoras. 2005

INFORMES Y RANKINGS

Desde 1994 se publican anualmente estudios que presentan una panorámica concreta de los mercados aseguradores europeos, de España e Iberoamérica y que pueden consultarse en formato electrónico en castellano y en inglés desde la página web: www.fundacionmapfre.org

Panorama económico y sectorial (con actualizaciones trimestrales)

Índice global de potencial asegurador GIP-MAPFRE

Mercado español de seguros

Mercado asegurador latinoamericano

Ranking de grupos aseguradores europeos

Ranking de grupos aseguradores iberoamericanos

Regímenes de regulación de solvencia 2018

Elementos para el expansión del seguro en América Latina. 2017

Sistemas de Pensiones. 2017

Los millennials y el seguro en España. 2016

Tendencias de crecimiento de los mercados aseguradores de América Latina para 2016

Estudio social sobre la jubilación: expectativas y experiencias. 2015

La percepción social del seguro en España. 2014

Informe de predicción de la actividad aseguradora en España. 2014

La internacionalización de la empresa española: riesgos y oportunidades. 2014

El seguro en la sociedad y la economía españolas. 2013

Papel del seguro en el desarrollo sostenible. ICEA, 2013

Emprender en momentos de crisis: riesgos y factores de éxito. 2012 La percepción social del seguro en España. 2012



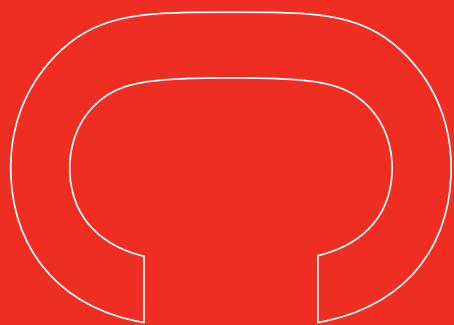
Puedes descargarte la versión digital
en el **Centro de Documentación**

www.fundacionmapfre.org/documentacion



FM Fundación **MAPFRE**

Fundación **MAPFRE**



231

Paseo de Recoletos, 23
28004 Madrid (España)
www.fundacionmapfre.org

P.V.P.: 20 €

ISBN 978-84-9844-758-3



9 788498 447583