

Diseño y Maquetación

Dpto. Marketing y Comunicación
Management Solutions - España

Fotografías

Archivo fotográfico de Management Solutions
Fotolia

© Management Solutions 2014

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción, distribución, comunicación pública, transformación, total o parcial, gratuita u onerosa, por cualquier medio o procedimiento, sin la autorización previa y por escrito de Management Solutions. La información contenida en esta publicación es únicamente a título informativo. Management Solutions no se hace responsable del uso que de esta información puedan hacer terceras personas. Nadie puede hacer uso de este material salvo autorización expresa por parte de Management Solutions.

Índice



Introducción 4



Resumen ejecutivo 8



Definición y normativa sobre riesgo de modelo 12



Elementos de un marco objetivo de MRM 18



Cuantificación del riesgo de modelo 26



Bibliografía 36



Glosario 37

Introducción



En los últimos años se ha observado una tendencia en las entidades financieras hacia un mayor uso de modelos para la toma de decisiones, que ha venido impulsada en parte por la regulación, pero que se manifiesta en todos los ámbitos de la gestión.

En este sentido, se constata que una elevada proporción de las decisiones de las entidades se toman de forma automatizada mediante modelos de decisión (ya sean algoritmos estadísticos o baterías de reglas)¹.

Por un lado, en los últimos años se ha extendido el uso de plataformas electrónicas que ejecutan de forma automática órdenes de *trading* programadas según tiempo, precio o volumen, y que pueden iniciarse sin intervención manual, lo que se conoce como *algorithmic trading*. Como ejemplo, al ejecutar una orden automática de *trading*, el 6 de mayo de 2010 se produjo un «*flash crash*» de 4.100 millones de dólares en la Bolsa de Nueva York, que cayó más de 1.000 puntos y se recuperó al mismo valor en tan solo 15 minutos².

Por otro lado, y en parte alentadas por la regulación de Basilea³, las entidades emplean cada vez más modelos de decisión (formados por algoritmos estadísticos y reglas de decisión) en sus procesos de admisión, seguimiento y recuperación del crédito. Así, se determina de forma automática si un crédito es viable o no a través de la estimación de la probabilidad de impago (PD) del cliente. Del mismo modo, las entidades observan la evolución de sus clientes y anticipan el deterioro crediticio mediante modelos automáticos de alertas, preclasifican a los clientes y les fijan límites de crédito; y, en el ámbito de las recuperaciones, determinan perfiles estadísticos de clientes morosos para aplicarles diferentes estrategias de recobro.

En el ámbito comercial, se permite al cliente seleccionar las características de un producto (importe, plazo y finalidad de un préstamo, coberturas de un seguro, etc.) y el sistema determina en tiempo real la viabilidad de la oferta y el precio. En muchos casos, el modelo hace una serie de preguntas al cliente y le ofrece proactivamente la mejor configuración para sus características (lo que manualmente sería lento y complejo de hacer).

Los modelos de valoración de productos o instrumentos financieros, tanto en el ámbito de mercado como de ALM, están muy extendidos en las entidades. Ejemplos clásicos de estos modelos son el de Black-Scholes, el CAPM⁴ o los modelos de Monte Carlo para valoración.

Otro ámbito donde el uso de modelos es cada vez más frecuente es la detección del fraude y del blanqueo de capitales. Tanto las entidades como los reguladores emplean modelos de identificación de transacciones fraudulentas u orientadas al blanqueo, para lo cual se utiliza una combinación de modelos estadísticos de identificación de perfiles de cliente (*know your customer*, KYC), reglas de monitorización de transacciones y listas negras.

Por otra parte, se extiende el uso de los modelos de *onboarding*, vinculación y campañas comerciales. Con ellos se determinan de forma automática las acciones de fidelización y vinculación de clientes tanto en la primera etapa de su relación con la entidad como en cualquier momento de su ciclo de vida, lo que incluye la venta cruzada de productos y servicios personalizados a las necesidades del cliente, dentro del marco del CRM⁵.

¹MIT (2005).

²SEC (2010).

³BCBS (2004-06).

⁴Capital asset pricing model.

⁵Customer relationship management.



Otros ejemplos incluyen la estimación del consumo de capital en todas sus acepciones (crédito, mercado, operacional, ALM, etc.) a través de sus componentes; la cuantificación de la posición de liquidez actual y proyectada bajo diferentes escenarios; la proyección del balance, la cuenta de resultados y la utilización de modelos de *stress test*⁶; o la modelización de numerosos componentes clave para la planificación y el desarrollo de negocio: cesta óptima, renta de clientes y no clientes, o abandono, entre otros (Fig. 1).

La utilización de modelos aporta indudables beneficios, entre los que se pueden contar:

- ▶ La automatización de la toma de decisiones, que a su vez facilita la mejora de la eficiencia a través de la reducción de los costes asociados al análisis y la decisión manual.
- ▶ La objetividad en la toma de decisiones, garantizando que el resultado de las estimaciones sea el mismo ante idénticas circunstancias y el reaprovechamiento de la información interna y externa, poniendo en valor la experiencia histórica.
- ▶ La capacidad de sintetizar cuestiones complejas, como el perfil de riesgo agregado de una entidad.

No obstante, la utilización de modelos también conlleva costes y riesgos, entre los que cabe mencionar:

- ▶ El coste directo en recursos (económicos y humanos) y tiempo para su desarrollo e implantación.
- ▶ El riesgo de confiar en los resultados de un modelo incorrecto o mal aplicado. De esto se han dado ejemplos concretos y recientes que han producido cuantiosas pérdidas⁷.

En este sentido, se puede definir el riesgo de modelo como «el conjunto de posibles consecuencias adversas derivadas de decisiones basadas en resultados e informes incorrectos de modelos, o de su uso inapropiado»⁸.

Los errores en un modelo pueden incluir simplificaciones, aproximaciones, hipótesis erróneas o un proceso de diseño incorrecto; mientras que el uso inapropiado de los modelos incluye su aplicación fuera del uso para el que fueron concebidos⁹.

El riesgo de modelo así definido, muy relevante en potencia, ha captado la atención de reguladores y entidades, que oscilan desde su mitigación a través de la validación de los modelos hasta el establecimiento de un marco integral para su gestión activa.

En los casos más avanzados, esta gestión activa se ha materializado en un marco de gestión de riesgo de modelo (*model risk management*, MRM), que establece las directrices sobre todo el proceso de planificación, desarrollo, implantación, validación, inventariado y uso de los modelos.

Esto viene refrendado por el hecho de que los reguladores, especialmente en Estados Unidos, comienzan a exigir este tipo de marcos, como se recoge en las directrices¹⁰ del Federal Reserve System (Fed) y la Office of the Comptroller of the Currency (OCC), que están sirviendo como punto de partida para el sector.

La normativa no profundiza en aspectos relativos a la cuantificación del riesgo de modelo, excepto para casos muy concretos de la valoración de ciertos productos, donde llega a exigir una estimación del riesgo de modelo a través de ajustes a la valoración (*model risk AVAs*¹¹) que derivan en una mayor necesidad de capital, o también en la posible utilización como mitigante de un *buffer* de capital por riesgo de modelo en un sentido más amplio, pero sin llegar a concretar su cálculo.

En este contexto, el presente estudio pretende proporcionar una visión amplia sobre la gestión del riesgo de modelo, su definición, naturaleza y fuentes, la normativa asociada, y sus implicaciones prácticas. Para ello, el documento se estructura en tres secciones, que responden a tres objetivos:

- ▶ Introducir el riesgo de modelo a través de su definición, el análisis de sus fuentes y un breve resumen de la normativa más relevante al respecto.
- ▶ Describir un marco objetivo de gestión de riesgo de modelo de una manera práctica y basada en ejemplos observados en entidades financieras.
- ▶ Avanzar en la cuantificación del riesgo de modelo (y sus posibles aplicaciones prácticas) a través de un ejercicio cuantitativo que ilustre el impacto de este riesgo.

⁶Ver Management Solutions (2013).

⁷Por ejemplo, el caso del «London Whale», que causó más de 6.200 millones de dólares de pérdidas a JPMorgan en 2012, lo que se enmarca en el mercado OTC de derivados, que a junio de 2013 tenía una exposición de casi 700 billones de dólares; ver BIS (2013); o la incorrecta valoración del riesgo de determinados instrumentos derivados, que se incluye entre las causas de la crisis *subprime* de EEUU de 2008.

⁸OCC-Fed (2011-12).

⁹*Ibid.*

¹⁰*Ibid.*

¹¹*Model risk additional valuation adjustments (AVAs)*, detallados en EBA (2013).

Resumen ejecutivo



Este apartado pretende sintetizar las principales conclusiones alcanzadas sobre la gestión del riesgo de modelo en entidades financieras (que se desarrollan en las secciones correspondientes del presente documento).

Definición y normativa sobre riesgo de modelo

1. La utilización de modelos matemáticos prolifera con rapidez en las entidades financieras en numerosos ámbitos, lo que aporta indudables beneficios (objetividad, automatización, eficiencia, etc.), pero también conlleva costes.
2. Entre estos costes se encuentra el riesgo de modelo, entendido como los perjuicios (económicos, reputacionales, etc.) provocados por decisiones basadas en modelos erróneos o usados de forma inapropiada.
3. Así entendido, el riesgo de modelo puede emanar de tres fuentes fundamentales: carencias en los datos (tanto disponibilidad como calidad); incertidumbre en la estimación o errores metodológicos en el diseño del modelo (volatilidad de los estimadores, simplificaciones, aproximaciones, hipótesis erróneas, diseño incorrecto, etc.); y el uso inadecuado del modelo (aplicación del modelo fuera de su uso previsto, falta de actualización y recalibración, etc.).
4. En lo relativo a la regulación, existe poca normativa referente al riesgo de modelo y, con una excepción, se refiere casi exclusivamente a la necesidad de practicar ajustes de valoración en productos derivados, al requerimiento de contemplar todos los riesgos en el proceso de autoevaluación del capital (ICAAP¹²) o a la utilización del ratio de apalancamiento de Basilea III como un mitigante del riesgo de modelo en la estimación de los activos ponderados por riesgo para el cálculo de capital por modelos internos¹³.
5. La excepción se refiere a la *Supervisory Guidance on Model Risk Management*¹⁴ publicada por la OCC y la Fed estadounidenses en 2011-12, que por primera vez define con precisión el riesgo de modelo y establece, a través de unas directrices, la necesidad de que las entidades dispongan de un marco para identificarlo y gestionarlo (aunque no necesariamente cuantificarlo) aprobado por sus consejos de administración.
6. Estas directrices cubren todas las fases del ciclo de vida de un modelo: desarrollo e implantación, uso, validación, gobierno, políticas, control y documentación por parte de todos los intervinientes; en este último aspecto incide especialmente, dada su importancia en los procesos de validación efectiva de los modelos.
7. Entre los principales aspectos requeridos se encuentra la necesidad de tratar el riesgo de modelo con el mismo rigor que cualquier otro riesgo, con la particularidad de que no puede ser eliminado, solo mitigado a través de un cuestionamiento efectivo («*effective challenge*»).
8. Los reguladores señalan expresamente que una modelización experimentada, una validación robusta de los modelos y un nivel de conservadurismo debidamente justificado (pero no desproporcionado) son elementos necesarios pero no suficientes para la mitigación del riesgo de modelo, y que ninguno de ellos es excusa para dejar de abordar la mejora continua de los modelos.
9. En lo relativo a la organización y el gobierno del riesgo de modelo, los reguladores no prescriben un esquema concreto, pero sí la necesidad de establecer una clara distinción entre los roles de «*ownership*»¹⁵, «*control*»¹⁶ y «*compliance*»¹⁷ de los modelos.
10. El Consejo de Administración es el responsable último de aprobar el marco de gestión del riesgo de modelo (MRM) y debe ser informado periódicamente sobre el riesgo de modelo significativo al que pudiera estar expuesta la entidad.
11. Por último, los reguladores destacan que el principio fundamental en la gestión del riesgo de modelo es el *effective challenge*, entendido como el análisis crítico por parte de personas objetivas, cualificadas y con experiencia en la línea de negocio en la que se utiliza el modelo, que puedan identificar las limitaciones y asunciones, y proponer las mejoras apropiadas.
12. Esta aproximación integral al riesgo de modelo es novedosa en el sector, y la tendencia esperable en los próximos años es que la industria se vaya haciendo eco de la misma y adhiriéndose a estas prácticas, como ya lo están haciendo las entidades más avanzadas.

¹²Internal Capital Adequacy Assessment Process.

¹³BCBS (2010-11).

¹⁴OCC-Fed (2011-12).

¹⁵Ownership: se refiere al «dueño» o usuario del modelo.

¹⁶Control: función que valida el modelo y establece límites a su uso.

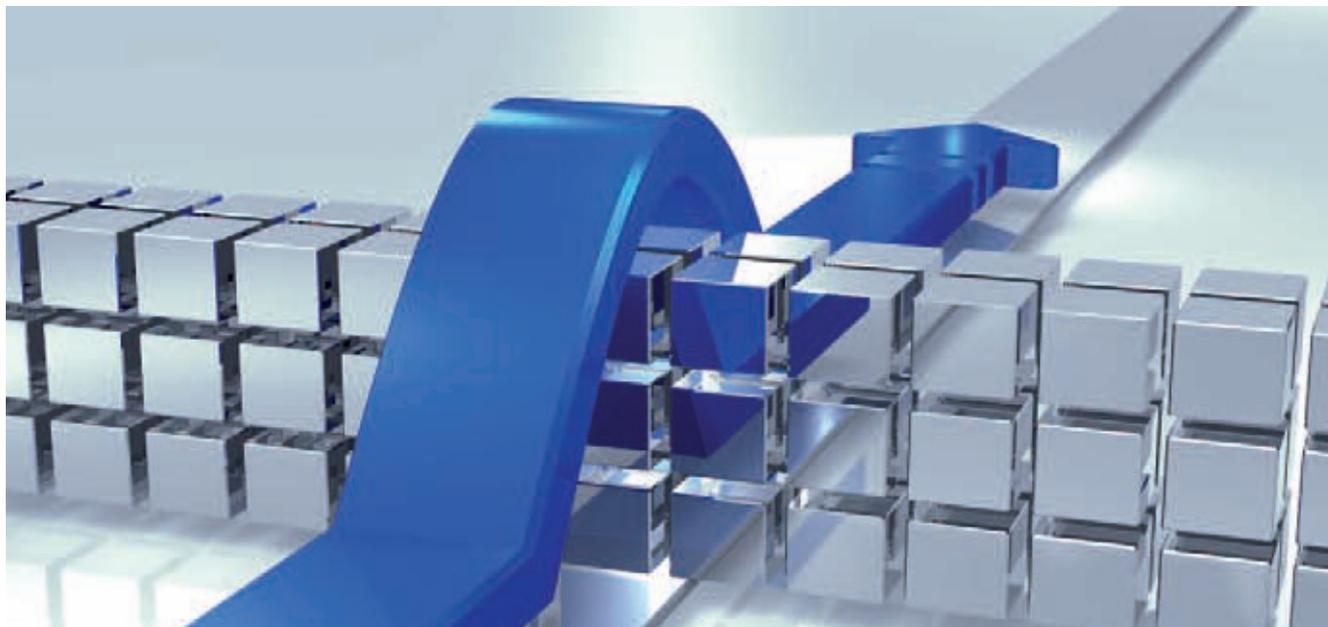
¹⁷Compliance: comprende la ejecución de los procesos que garantizan que los otros dos roles se desempeñan de acuerdo con las políticas establecidas.

Elementos de un marco objetivo de MRM

13. Las entidades más avanzadas en esta materia disponen de un marco de gestión del riesgo de modelo (MRM) que se sustancia en un documento aprobado por el Consejo de Administración y que detalla aspectos relativos a organización y gobierno, gestión de modelos, etc.
14. En lo relativo a organización y gobierno, el marco de MRM se caracteriza por su transversalidad (involucra a varias áreas, como las líneas de Negocio, Riesgos, Auditoría Interna, Tecnología, Finanzas, etc.), la definición explícita de los tres roles que el regulador demanda (*ownership, control y compliance*) y su asignación a funciones concretas de la organización y, sobre todo, el establecimiento de una función de Gestión de Riesgo de Modelo (MRM), cuya responsabilidad sea crear y mantener el marco de MRM.
15. En algunas organizaciones, la función de MRM incluye a la función de Validación Interna (aunque en otras, se trata de una función distinta), y en todo caso, se ocupa de todo lo relacionado con el gobierno de los modelos: mantener un inventario global de modelos actualizado, elaborar y difundir las políticas de MRM, evaluar anualmente todos los modelos de la entidad, etc.
16. La función de MRM, liderada habitualmente por un *Model Risk Officer (MRO)*, suele tener la última palabra sobre la aprobación de cualquier modelo de la entidad.
17. En lo referente a la gestión de modelos, el marco de MRM incluye aspectos tales como: (a) el inventario de modelos, que cense todos los modelos de la entidad en todos sus ámbitos (riesgos, comercial, finanzas, etc.), soportado normalmente en una herramienta tecnológica apropiada que guarde traza de todos los cambios y versiones; (b) un sistema de clasificación o *tiering* de los modelos según el riesgo que comporten para la entidad, del que depende el nivel de exhaustividad en el seguimiento, la validación y la documentación de los modelos; (c) una documentación completa y detallada de cada modelo, que permita la réplica por parte de un tercero y el traspaso a un nuevo modelizador sin pérdida de conocimiento; y (d) un esquema de seguimiento de los modelos que permita detectar de forma temprana desviaciones del desempeño del modelo respecto a lo previsto, así como usos inadecuados, para tomar acciones en consecuencia.
18. La validación de los modelos es un elemento central para la gestión del riesgo de modelo, y debe tomar como principio fundamental el cuestionamiento (*challenge*) crítico, efectivo e independiente de todas las decisiones tomadas en el desarrollo, el seguimiento y el uso del modelo. La periodicidad y la intensidad de la validación de cada modelo deben estar proporcionadas a su riesgo, medido a través de su *tier*, y el proceso y el resultado de la validación deben documentarse exhaustivamente a su vez.
19. Si bien la cuantificación del riesgo de modelo no es un elemento requerido por la normativa (con la excepción de lo ya comentado en la introducción), algunas entidades están comenzando a incorporarlo en su gestión con el fin de identificar y medir de manera objetiva potenciales impactos derivados de las manifestaciones de dicho riesgo.

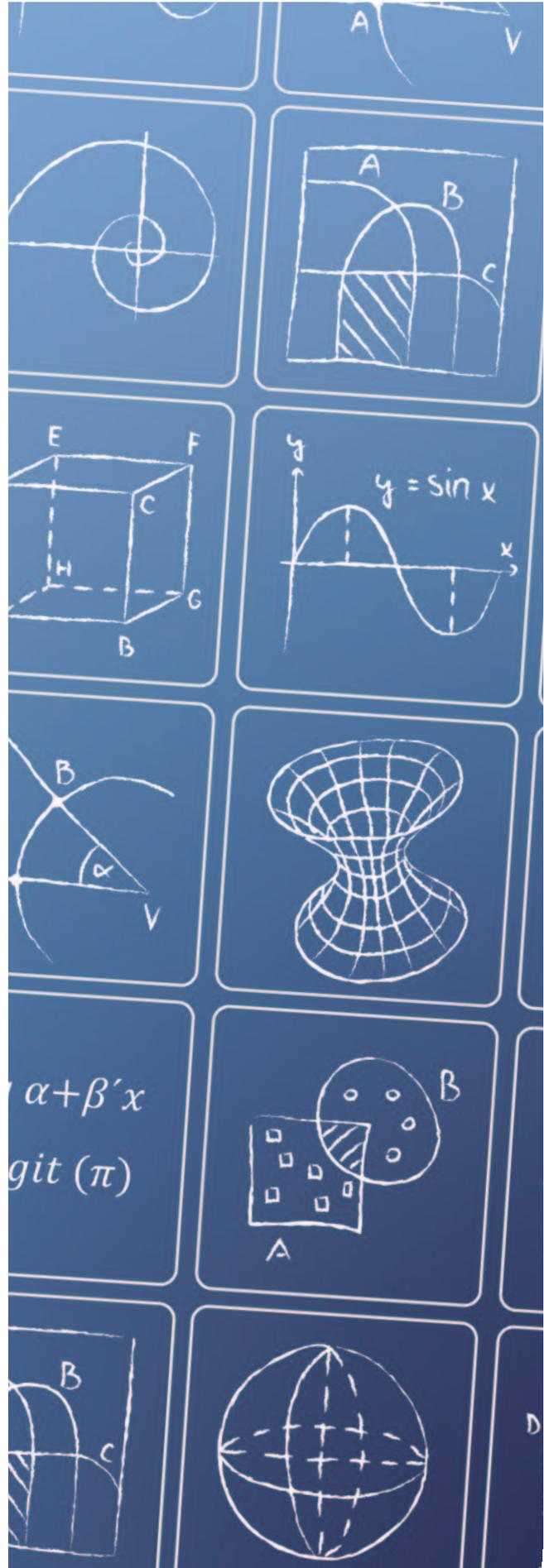
Cuantificación del riesgo de modelo

20. Más allá de la normativa, y a efectos de gestión, algunas entidades han empezado a trabajar en el ciclo de cuantificación del riesgo de modelo, que consta fundamentalmente de tres fases: identificación y clasificación de las fuentes de riesgo de modelo: (1) carencias en los datos, (2) incertidumbre en la estimación o errores en el modelo y (3) uso inadecuado del modelo; estimación del riesgo de modelo de cada fuente



(sensibilidad de los outputs a las fluctuaciones de los *inputs*); y mitigación del riesgo de modelo a través de la aplicación de las medidas oportunas.

21. Para ilustrar este proceso, se ha realizado un estudio cuyo objetivo es estimar el riesgo de modelos y parámetros de crédito.
22. Para ejemplificar la estimación de carencias en los datos, el primer ejercicio analiza el impacto de la ausencia de información en las variables más predictivas de un modelo de *scoring* de hipotecas de particulares. Se observa que la presencia de errores en las variables más predictivas del modelo puede elevar significativamente la tasa de incumplimiento, o alternatively elevar el coste de oportunidad (reducir el volumen de negocio captado) si se fijase la misma morosidad.
23. El segundo ejercicio está orientado a analizar el riesgo de modelo proveniente de la incertidumbre en la estimación, utilizando para ello los intervalos de confianza de los estimadores. Con este fin, se parte de los intervalos de confianza de un modelo de *scoring*, del cálculo de la PD y del cálculo de la LGD (por separado y de forma combinada), y se observa cómo el consumo de capital en una cartera hipotecaria puede llegar a estar subestimado por el efecto combinado de la incertidumbre en los estimadores del *scoring*, en el calibrado de la PD y en la estimación de la LGD.
24. Por último, el tercer ejercicio analiza el uso inadecuado de los modelos tomando como ejemplo la falta de actualización de los mismos (en este caso, un modelo de *scoring*) durante 12 meses tras su construcción. Para ello, se contrasta el poder predictivo del modelo en el momento de su construcción con el que muestra un año después y se evalúa el impacto en la morosidad y en el coste de oportunidad (menor captación de negocio) de la decisión de no actualizarlo. Se observa que la falta de actualización del modelo estudiado durante 12 meses conduce a reducciones de su poder predictivo en varios puntos porcentuales. La consecuencia de esta reducción es un aumento de la tasa de incumplimiento, o alternatively una reducción del volumen de negocio captado (es decir, un incremento del coste de oportunidad) manteniendo la misma morosidad.
25. En síntesis, el riesgo de modelo puede tener impactos cuantitativos muy relevantes, que pueden llevar a tomar decisiones de gestión erróneas o incluso a subestimar el consumo de capital o las provisiones de una entidad. Por ello, es conveniente disponer de un marco de MRM y, en su caso, avanzar en la utilización de técnicas robustas de estimación del riesgo de modelo, orientadas a la aplicación de las técnicas de mitigación apropiadas.



Definición y normativa sobre riesgo de modelo



¿Qué es un modelo?

Al analizar el riesgo de modelo, la primera pregunta que se puede plantear es qué es y qué no es un modelo.

De acuerdo con la Fed y la OCC¹⁸, el término «modelo» se refiere a «un método cuantitativo, sistema o estrategia que aplica teorías, técnicas e hipótesis estadísticas, económicas, financieras o matemáticas para procesar datos y obtener estimaciones cuantitativas». Consta de tres componentes (Fig. 2):

- ▶ La información de entrada (*input*), que necesariamente introduce hipótesis y asunciones al modelo.
- ▶ El método que transforma la información de entrada en estimaciones, que en general empleará la estadística para producir estimaciones cuantitativas.
- ▶ Y el componente de reporte, que transforma las estimaciones en información útil para el negocio.

Siempre de acuerdo con la Fed y la OCC, «la definición de modelo también cubre los enfoques cuantitativos cuyos datos de entrada son parcial o totalmente cualitativos o están basados en criterio experto, siempre que la estimación sea de naturaleza cuantitativa».

¹⁸OCC- Fed (2011-12).

Como se puede apreciar, el concepto de modelo es más amplio de lo que una interpretación parcial –más ligada al algoritmo matemático en sentido estricto– sugeriría, y engloba, entre otros, los modelos expertos.

No obstante, esta definición conserva cierto margen para la interpretación. Por ejemplo, con una definición como la citada indudablemente se deberían considerar como modelos:

- ▶ Un algoritmo para el cálculo del *value-at-risk* (VaR) en riesgo de mercado mediante simulaciones tanto de Monte Carlo como históricas.
- ▶ Un *scoring* para el cálculo de la probabilidad de incumplimiento (*probability of default*, PD) de los préstamos de una cartera mediante una regresión logística.
- ▶ Los mecanismos de valoración de exposiciones, activos, instrumentos, carteras, derivados, etc.

Por el contrario, bajo esta definición sería cuestionable considerar como modelos:

- ▶ Cualquier agregación simple de datos: sumas, medias, desviaciones estándar, ratios financieros, etc.
- ▶ Una proyección de crecimiento anual constante tomando una única variación interanual histórica de referencia, sin llevar a cabo ningún otro análisis.

Fig. 2. Componentes de un modelo



- ▶ El mecanismo de toma de decisiones únicamente en función del valor de una variable; por ejemplo, una regla simple de aceptación o denegación sobre la LTV.

En todo caso, es una decisión de cada entidad delimitar el alcance de lo que se considere modelo y quede por tanto afectado por el riesgo de modelo y las políticas que se definan en torno a él. Este alcance en ocasiones será difuso y requerirá de cierto grado de juicio subjetivo.

Una vez delimitado el alcance del término, también procederá pronunciarse sobre los tipos de modelos que serán objeto de análisis (de riesgos, comerciales, de proyecciones financieras, etc.).

Riesgo de modelo: naturaleza y fuentes

Los modelos son representaciones simplificadas de la realidad. Esta simplificación es inevitable, dada la complejidad de las relaciones entre las variables, y en todo caso es un foco de riesgo que necesita ser identificado, analizado y gestionado como cualquier otro riesgo de una entidad.

El riesgo de modelo, de acuerdo con la Fed y la OCC, se define como «el conjunto de posibles consecuencias adversas derivadas de decisiones basadas en resultados e informes incorrectos de modelos, o de su uso inapropiado»¹⁹.

Si a esto se añaden de manera explícita las deficiencias en los datos (que redundan en la incorrección de un modelo), las fuentes del riesgo de modelo se pueden clasificar en tres bloques (Fig. 3):



1. Carencias en los datos, tanto de disponibilidad como de calidad, que incluyen errores en los datos, ausencia de variables críticas, falta de profundidad histórica, fallos en la alimentación de las variables o tamaños muestrales insuficientes. Por ejemplo, la utilización en un modelo de un valor de tasación a la fecha de formalización de un contrato en lugar de a la fecha más reciente, porque no se haya almacenado en las bases de datos.
2. Incertidumbre en la estimación o errores en el modelo, en la forma de simplificaciones, aproximaciones, hipótesis erróneas o un diseño incorrecto del modelo. Pueden ocurrir en cualquier punto de su desarrollo, desde el diseño hasta la implantación, lo que puede provocar resultados erróneos y no acordes con el objetivo y el uso previsto del modelo. Incluyen la propia incertidumbre en los estimadores (que se refleja en los intervalos de confianza, que con frecuencia se calculan pero tienden a no utilizarse), pero también el uso de parámetros no observables, la ausencia de consenso de mercado sobre la forma funcional del modelo, y las dificultades computacionales, entre otros.
3. Uso inadecuado del modelo, que incluye tanto su aplicación fuera del uso para el que fue concebido (como construir un modelo de *rating* con una cartera y aplicarlo a una cartera diferente, por ejemplo de otro país), como el hecho de no reestimar ni recalibrar los modelos en un largo periodo de tiempo.

¹⁹Ibid.

Fig. 3. Fuentes de riesgo de modelo



Contexto normativo

Visión general

Hasta la fecha, existe poca normativa que regule de forma concreta el riesgo de modelo, y tiende a ser inespecífica tanto en su delimitación como en el tratamiento esperado. En concreto, aparte del documento normativo de la Fed y la OCC que se analizará en detalle, algunas referencias normativas al riesgo de modelo se pueden caracterizar en tres tipos (Fig. 4):

- ▶ **Ajustes de valoración:** se trata de normativa que regula la necesidad de ajustar de manera prudente la valoración de determinados productos (especialmente derivados) para contemplar el posible riesgo de modelo.

Aunque Basilea II ya apuntaba²⁰ la necesidad de hacer estos ajustes, el principal hito normativo en esta dirección ocurrió en 2013, con la publicación por parte de la EBA del *RTS on Prudent Valuation*, en el que por primera vez se dan pautas metodológicas concretas sobre cómo realizarlos. Supone, por tanto, el único caso de cuantificación explícita del riesgo de modelo recogido en la normativa, como se detallará más adelante.

- ▶ **Buffer de capital vinculado al ICAAP:**²¹ tanto Basilea II en su segundo pilar como ciertos reguladores locales²² al trasponerlo recogen la necesidad de dotar capital por todos los riesgos que la entidad considere relevantes, dentro de su proceso de autoevaluación del capital o ICAAP.

Esto sucede también en otros procesos vinculados al ICAAP, como el ejercicio de *stress test* estadounidense conocido como CCAR²³, en el que el regulador también sugiere la posibilidad de dotar un *buffer* de capital en concepto de riesgo de modelo, aunque no lo exige, y de hecho algunas entidades lo hacen en la práctica.

Sin embargo, en la mayoría de estas normas la mención explícita del riesgo de modelo es tangencial o se puede entender englobado en el conjunto de «otros riesgos».

- ▶ **Otras menciones:** agrupa otras referencias menores al riesgo de modelo, que lo asumen implícito en otros elementos normativos. El caso más notable es la consideración por parte del Comité de Basilea de la mitigación del riesgo de modelo a través de la aplicación del ratio de apalancamiento, aunque no profundiza mucho más en este aspecto²⁴.

Fed y OCC: Supervisory Guidance

El principal hito normativo, sin embargo, se produjo en 2011-12, con la publicación por parte de los reguladores estadounidenses de la *Supervisory Guidance on Model Risk Management*²⁵. En ella, por primera vez se define con precisión el concepto de riesgo de modelo y se establece la necesidad de que las entidades dispongan de un marco para identificarlo y gestionarlo.

²⁰BCBS (2004-06): «699. Las autoridades supervisoras esperan que, como mínimo, se consideren formalmente los siguientes ajustes/reservas de valoración: [...] cuando proceda, el riesgo asociado a la utilización de un modelo».

²¹Internal Capital Adequacy Assessment Process.

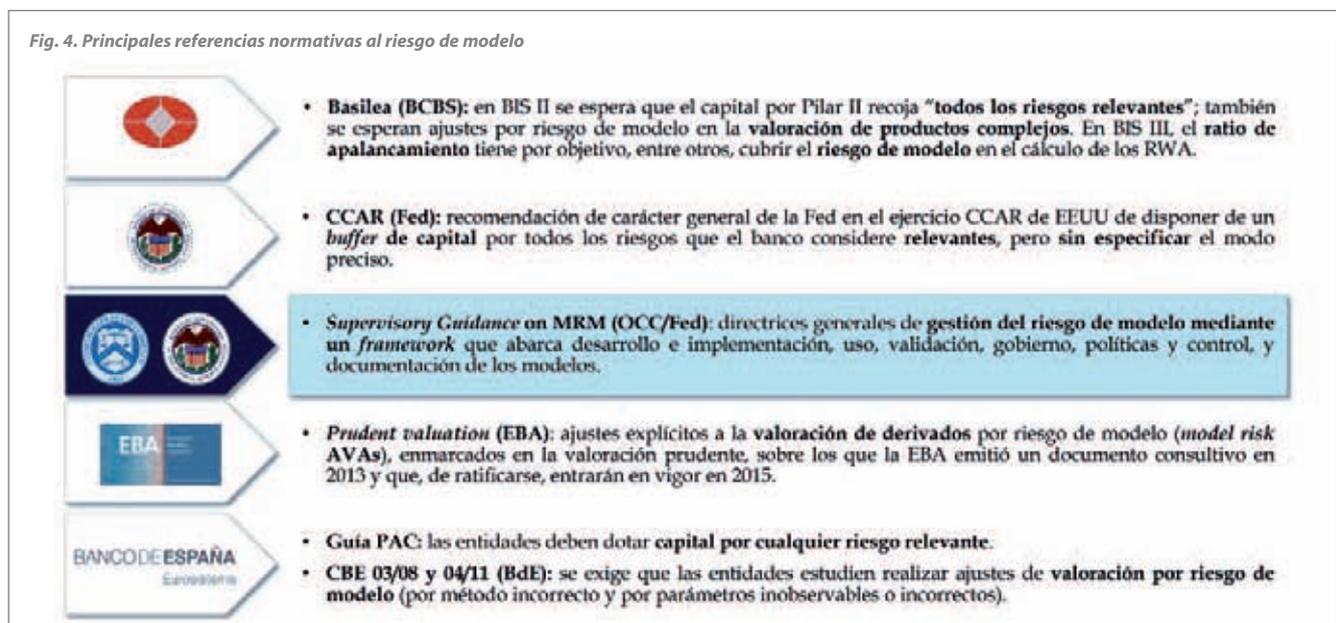
²²Ver, por ejemplo, Banco de España (2008-14).

²³Comprehensive Capital Analysis and Review.

²⁴BCBS (2010-11): «16. [...] el Comité introduce un coeficiente de apalancamiento con los siguientes objetivos: [...] introducir medidas de salvaguardia adicionales frente al riesgo de modelos y errores de medición, complementando las medidas basadas en riesgo con otras más simples, transparentes e independientes».

²⁵OCC-Fed (2011-12).

Fig. 4. Principales referencias normativas al riesgo de modelo



Para ello, la norma plantea una serie de directrices o principios de actuación sobre el riesgo de modelo, estructurados por ámbitos (Fig. 5), que se pueden sintetizar en los siguientes (Fig. 6):

1. El riesgo de modelo debe ser gestionado como cualquier otro riesgo; las entidades deben identificar sus fuentes y evaluar su magnitud para poder gestionarlo.
2. El riesgo de modelo no puede ser eliminado, solo mitigado mediante su buena gestión. Una combinación de modelización experimentada y validación robusta, aunque necesaria, no basta para eliminar el riesgo de modelo.
3. En consecuencia, debe existir un marco de gestión del riesgo de modelo (MRM), aprobado por el Consejo de Administración.
4. El conservadurismo bien soportado en los *inputs*, los *outputs* y el diseño del modelo es una herramienta efectiva, pero no es excusa para evitar abordar la mejora continua de los modelos.
5. El uso prudente de modelos puede incluir enfoques conservadores debidamente justificados, el *stress test* del modelo, o un posible *buffer* de capital por riesgo de modelo. No obstante, el propio regulador también advierte de que un abuso de elementos conservadores puede desencadenar un mal uso de los modelos.
6. Las fuentes de riesgo de modelo son múltiples y las entidades deben prestar especial atención al riesgo de modelo agregado que resulta de la combinación de todas ellas.
7. Si bien es discreción de las entidades la elección del modelo organizativo que estimen conveniente, es necesario que exista una clara distinción entre los roles de *ownership*, *control* y *compliance* de los modelos; donde el *ownership* implica conocer el riesgo de modelo al que se está sujeto; el *control* contempla el establecimiento de límites y el seguimiento, así como la validación independiente del modelo; y la *compliance* comprende el conjunto de procesos que aseguren que los roles de *ownership* y de control se desempeñan de acuerdo con las políticas establecidas.
8. El Consejo de Administración es el responsable último del marco de gestión del riesgo de modelo, que debe aprobar, y debe ser informado periódicamente sobre el riesgo de modelo significativo al que esté expuesta la entidad.
9. El principio clave en la mitigación del riesgo de modelo es el *effective challenge*: el análisis crítico por parte de personas objetivas, cualificadas y con experiencia en la línea de negocio en la que se utiliza el modelo, que puedan identificar las limitaciones y asunciones, y proponer las mejoras apropiadas.

En síntesis, los reguladores están impulsando la elaboración de marcos de gestión del riesgo de modelo que formalicen los criterios que se deben seguir en el desarrollo y la implantación de modelos, garanticen su uso prudente, fijen los procedimientos de validación de su desempeño y delimiten el gobierno de las políticas y los criterios de documentación aplicables.

Esta aproximación integral al riesgo de modelo es novedosa en la industria, y la tendencia esperable en los próximos años es que las entidades se vayan haciendo eco de ella, como así lo están haciendo las más avanzadas.

Fig. 5. Estructura y ámbitos de la norma de la Fed y la OCC sobre gestión de riesgo de modelo

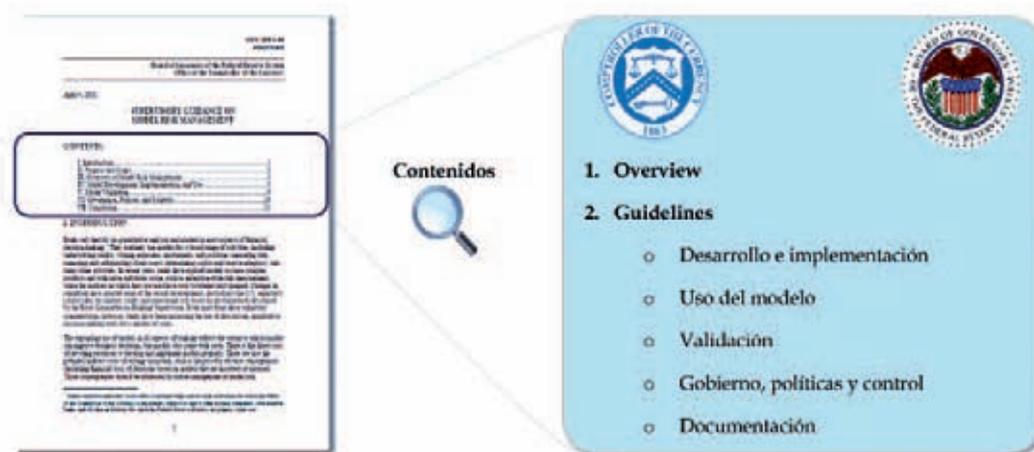
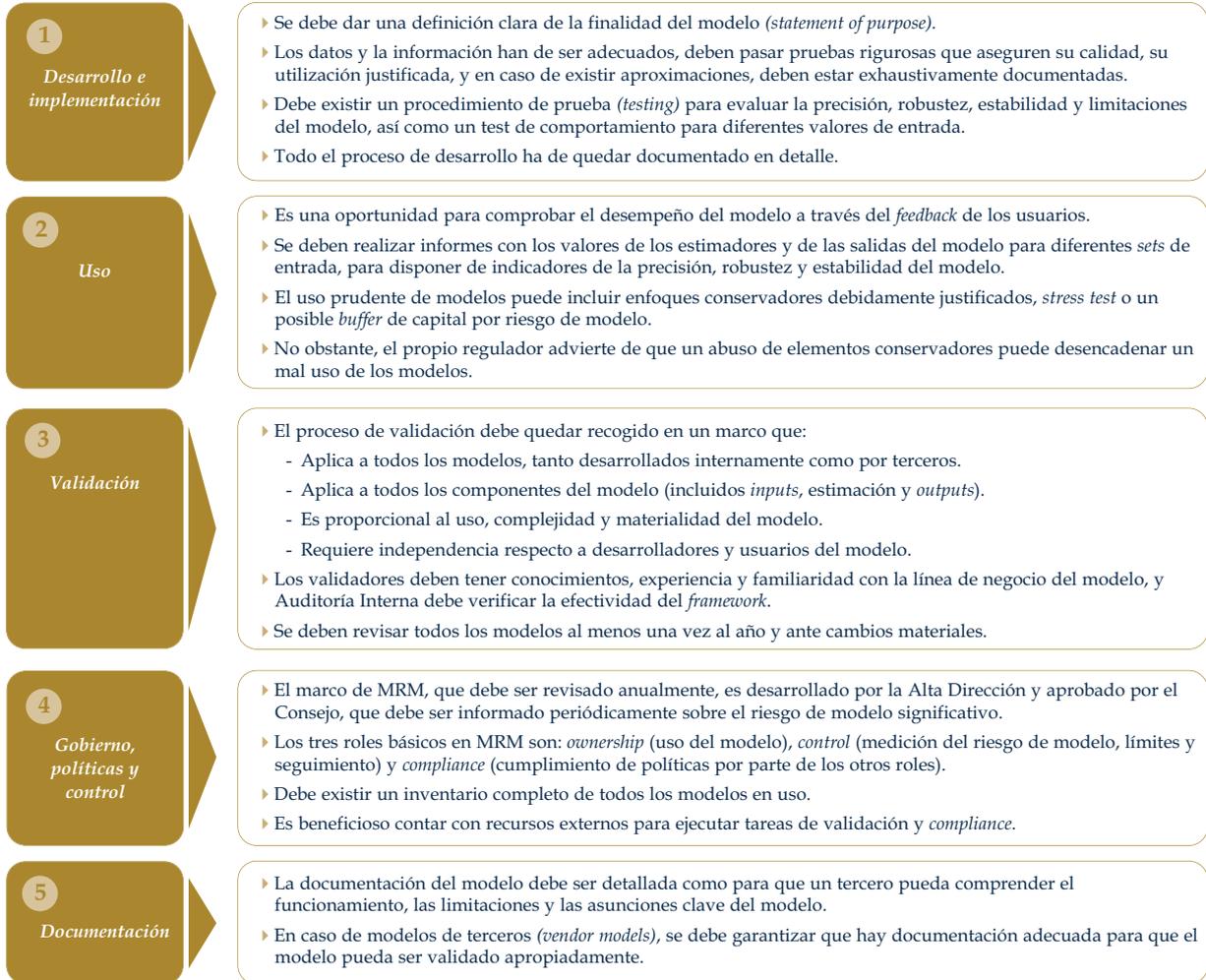


Fig. 6. Síntesis de las directrices de la Fed y la OCC sobre gestión del riesgo de modelo



Fuentes comunes de riesgo de modelo

El riesgo de modelo está presente en todas las fases del ciclo de vida de un modelo: desarrollo y aplicación, seguimiento, validación y auditoría; y emana de tres fuentes fundamentales: los datos, la incertidumbre y los errores en la estimación, y el uso del modelo.

A continuación se sintetizan algunos ejemplos de problemas comunes que generan riesgo de modelo según el tipo de fuente.

Datos	Estimación	Uso
<ul style="list-style-type: none"> - Errores en la definición de los datos - Errores en el mapeo de los datos con las fuentes de información - Periodicidad de alimentación insuficiente - Problemas provenientes del aprovisionamiento de los datos - Migraciones de datos - Precisión de los <i>proxies</i> (margen de error) - Muestra insuficiente - Insuficiencia de profundidad histórica - Ausencia de variables críticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertidumbre en los estimadores - Falta de reflejo o adecuación de la realidad - Hipótesis matemáticas inadecuadas - Elevada sensibilidad de los ajustes expertos - Uso de parámetros no observables - Ausencia de consenso de mercado - Dificultades computacionales - No utilización de intervalos de confianza - Modelo desactualizado por descalibración de parámetros, ajustes expertos no actualizados, variables sin capacidad discriminante, etc. - Inestabilidad del modelo - Falta de documentación exhaustiva - Capacidades analíticas insuficientes - Utilización de metodologías novedosas sin soporte académico - Falta de independencia de la unidad de Validación respecto a los desarrolladores 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del modelo con fines para los que no fue diseñado - Divergencias entre usos regulatorios y de gestión - Extensión del alcance de uso del modelo (nuevos productos, mercados, segmentos, etc.) - Falta de uso efectivo del modelo en la práctica - Modelos no reestimados ni recalibrados en largos periodos - Introducción de cambios no aprobados en el modelo - Diferencias en la definición y usos entre las áreas comerciales y riesgos - Reducida credibilidad del modelo por parte del usuario

Elementos de un marco objetivo de MRM



Política de MRM

Diferentes entidades financieras internacionales han ido desarrollando una serie de claves en materia de gestión del riesgo de modelo (MRM), que se sintetizan en esta sección como posibles mejores prácticas.

Todas ellas contemplan como necesaria la creación de un marco de gestión del riesgo de modelo (MRM *framework*) aprobado al máximo nivel, que establezca como elementos centrales los roles de *ownership*, *control* y *compliance* de los modelos.

Este marco se plasma en una política escrita y explícita, aprobada por el Consejo de Administración y que contempla cuatro elementos principales (Fig. 7):

- ▶ Organización y gobierno: descripción de roles y responsabilidades, y en concreto establecimiento de la función de Gestión de Riesgo de Modelo (MRM) como referencia para todas las cuestiones sobre este tema.
- ▶ Gestión de modelos: pautas sobre la clasificación, el desarrollo, el seguimiento, la documentación, el inventariado y el reporte de modelos.
- ▶ Validación y gestión de cambios en modelos: directrices sobre la revisión de los modelos, la aprobación de

cambios y las dispensas (*waivers*) necesarias para su utilización previa a la aprobación.

- ▶ Cuantificación del riesgo de modelo: metodología de estimación del riesgo de modelo, según su naturaleza y clasificación.

Organización y gobierno de modelos

El Consejo de Administración es el responsable en última instancia de la aprobación del marco de MRM. Asimismo, y en línea con lo establecido por las directrices de la OCC y la Fed, el Consejo debe recibir informes periódicos sobre el cumplimiento de la política de MRM y debe ser informado ante cualquier riesgo de modelo que resulte relevante para la entidad. De este modo, las mejores prácticas equiparan el riesgo de modelo a cualquier otro riesgo de importancia para la entidad.

Desde el punto de vista organizativo, la gestión del riesgo de modelo se caracteriza por tres elementos:

- ▶ Transversalidad: la gestión del riesgo de modelo afecta a varias áreas de una entidad; entre ellas, las líneas de Negocio, Riesgos, Finanzas, Auditoría Interna y Tecnología.

Fig. 7. Elementos de una política de gestión del riesgo de modelo (MRM)



- ▶ Roles: la política de MRM debe definir el rol de cada área en la gestión del riesgo de modelo. En línea con lo establecido en las directrices de la OCC y la Fed, se suelen distinguir tres roles:
 - *Ownership*: áreas usuarias finales del modelo, y que por tanto tienen responsabilidad sobre su buen uso y la obligación de reportar errores o inconsistencias; también incluye al área que desarrolla el modelo, cercana al usuario final. Suele corresponder a las líneas de Negocio, a Finanzas o a Riesgos.
 - *Control*: área que realiza la medición del riesgo de modelo, establece los límites y lleva a cabo el seguimiento. Suele ser ejecutado por Riesgos o por una función específica e independiente de control, que a su vez puede contener o no a la función de Validación Interna.
 - *Compliance*: área que supervisa el cumplimiento de las políticas por parte de los otros dos roles. Suele corresponder a la función de Compliance o a Auditoría.
- Trabajar de forma continua con los *owners* de los modelos para mantener un inventario global permanentemente actualizado.
- Validar los modelos de forma independiente según su clasificación (en algunas organizaciones esta función la ejecutan otras unidades independientes).
- Aprobar el uso de modelos y señalar sus limitaciones.
- Realizar una evaluación anual de todos los modelos del inventario.
- Elaborar y difundir las políticas de riesgo de modelo.

Asimismo, la función de MRM suele disponer de una estructura jerárquica donde aparecen roles diferenciados, liderados por un *Model Risk Officer* (MRO).

Gestión de modelos

Cabe destacar que el proceso y los intervinientes en la construcción de modelos no son necesariamente los mismos en Europa y en Estados Unidos, donde se tiende a esquemas más descentralizados e imbricados en las líneas de Negocio.

El marco de MRM contiene las directrices que los modelizadores deben tener presentes durante el proceso de desarrollo de los modelos, así como los elementos clave para que el riesgo de modelo sea controlado. Entre las principales directrices, se pueden citar las siguientes:

- ▶ Función de MRM: las mejores prácticas incluyen la creación de una función de Gestión del Riesgo de Modelo (MRM), dependiente del CRO²⁶, cuya responsabilidad es crear y mantener el marco de MRM. En algunas organizaciones contiene a la unidad de Validación Interna (en otras se trata de unidades distintas), y por tanto aprueba los modelos y su uso, pero también gestiona todo lo relacionado con el gobierno de los modelos. Entre sus responsabilidades se incluyen:
 1. Objetivo y uso: todo modelo debe tener un objetivo claramente explicitado y debe ser utilizado para el uso para el que fue diseñado y aprobado; cualquier uso fuera de los previstos en su construcción debe ser aprobado de forma expresa.
 2. Inventario: es obligación de los modelizadores declarar todo modelo que se desarrolle para su inclusión en el inventario de modelos y posterior validación y seguimiento.

²⁶Chief Risk Officer.



3. *Tiering*: todo modelo debe ser categorizado según el riesgo que su uso presenta para la entidad.
4. Documentación: todo modelo debe ser documentado con un nivel de exhaustividad proporcionado a su *tier*, y debe contener una descripción de objetivos, usos previstos, datos de entrada, hipótesis y metodología empleada.
5. No redundancia: antes del desarrollo de un modelo, el modelizador debe confirmar que no hay un modelo existente que pueda cubrir las necesidades del usuario.

En lo relativo a los elementos clave que un marco de MRM contiene para el desarrollo y la gestión de los modelos, destacan cuatro piezas fundamentales: inventario, *tiering*, documentación y seguimiento de modelos, que se detallan a continuación.

Inventario de modelos

Una entidad debe contar con un inventario exhaustivo de todos los modelos existentes, con el objetivo de facilitar el gobierno y la gestión del riesgo de modelo y de mantener un censo de los usos, los cambios y el estado de aprobación de cada modelo.

El inventario de modelos debe:

- ▶ Contener todos los modelos de la entidad, dentro del perímetro de lo que el marco de MRM considera «modelo» y en todos los ámbitos: Riesgos, Comercial, Finanzas, etc.
- ▶ Incluir información sobre el tier de cada modelo, su documentación, su estado de revisión, los usos previstos y reales, los posibles *waivers* que se le estén aplicando, y cualquier otra información que la función de MRM considere relevante para su buen gobierno.

- ▶ Estar soportado en una herramienta tecnológica apropiada, que contenga un repositorio único y centralizado para toda la entidad e idealmente una interfaz que permita la interlocución entre el *owner* (incluyendo el desarrollador), el validador y el auditor del modelo.
- ▶ Guardar traza de todas las versiones, cambios, *waivers*, documentos, consideraciones de los validadores y del supervisor (cuando sea aplicable), y fechas previstas de seguimiento y actualización del modelo.

Como se puede apreciar, la construcción y el mantenimiento de un inventario de modelos supone un esfuerzo relevante para una entidad, pero resulta una pieza esencial para la gestión del riesgo de modelo.

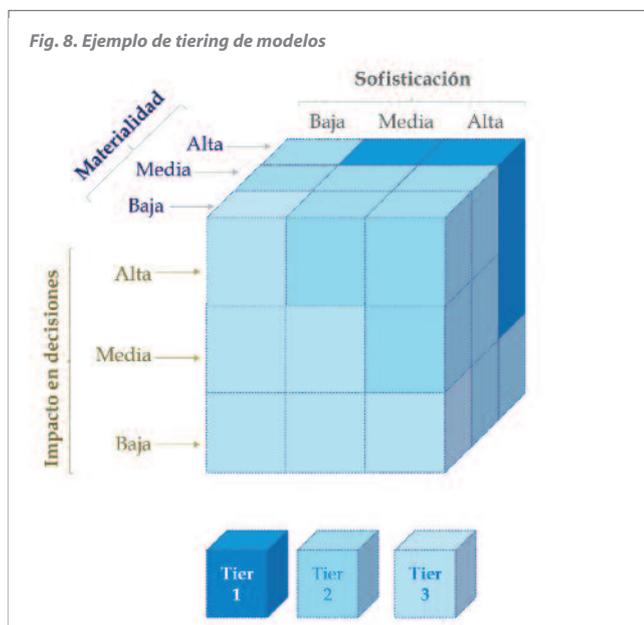
Tiering de modelos

Es una buena práctica clasificar los modelos según el riesgo que su utilización comporta para la entidad. De esta clasificación o *tiering* dependen la exhaustividad requerida en la documentación del modelo, la necesidad de aprobación de los cambios por parte de los validadores, o la frecuencia y el rigor del seguimiento, entre otros aspectos.

En un proceso de *tiering* habitual, el *owner* de un modelo propone un nivel de riesgo para el modelo, pero es la función de MRM quien sanciona y tiene la última palabra a este respecto.

El *tier* de un modelo es un proceso en parte subjetivo, y trata de reflejar los criterios mediante los cuales cada entidad aproxima el riesgo de cada modelo. Como ejemplo, un *tiering* puede depender de los siguientes factores (Fig. 8):

- ▶ Materialidad, que refleja las consecuencias económicas de un posible error o mal uso del modelo, y que cada *owner*



cuantifica en los términos más apropiados: exposición o saldo en balance de activos afectados, margen comprometido, métricas de impacto reputacional, etc.

- ▶ Sofisticación, que expresa el nivel de complejidad del modelo: formulación matemática con elevada dificultad, dependencia de un elevado número de variables de entrada, estabilidad observada de los parámetros, aproximaciones numéricas a expresiones analíticas (ej.: ecuaciones diferenciales estocásticas), algoritmos novedosos o sobre los que no hay evidencia académica de su rendimiento y estabilidad, etc.
- ▶ Impacto en decisiones, que recoge en qué medida los resultados del modelo influyen en procesos de decisión sensibles de la entidad, o en los estados financieros y el reporte regulatorio. Los modelos de alta dependencia son aquellos cuyo resultado es el eje central de una decisión clave de la entidad, como el cálculo del capital de las provisiones, mientras que los de baja dependencia son aquellos que se emplean como un factor más en el soporte a una decisión no crítica. Se suele clasificar en tres niveles:
 - Departamento, si un error en el modelo solo afectaría a un departamento o área.
 - Entidad, si un error afectaría a varios departamentos de la entidad.
 - Externo, si el error puede afectar al reporte de la entidad hacia terceros, como el supervisor, las agencias de calificación, los accionistas, etc.

La clasificación o *tiering* de cada modelo ha de ser debidamente justificada y documentada por parte del *owner* del modelo, y aprobada por parte de la función de MRM.

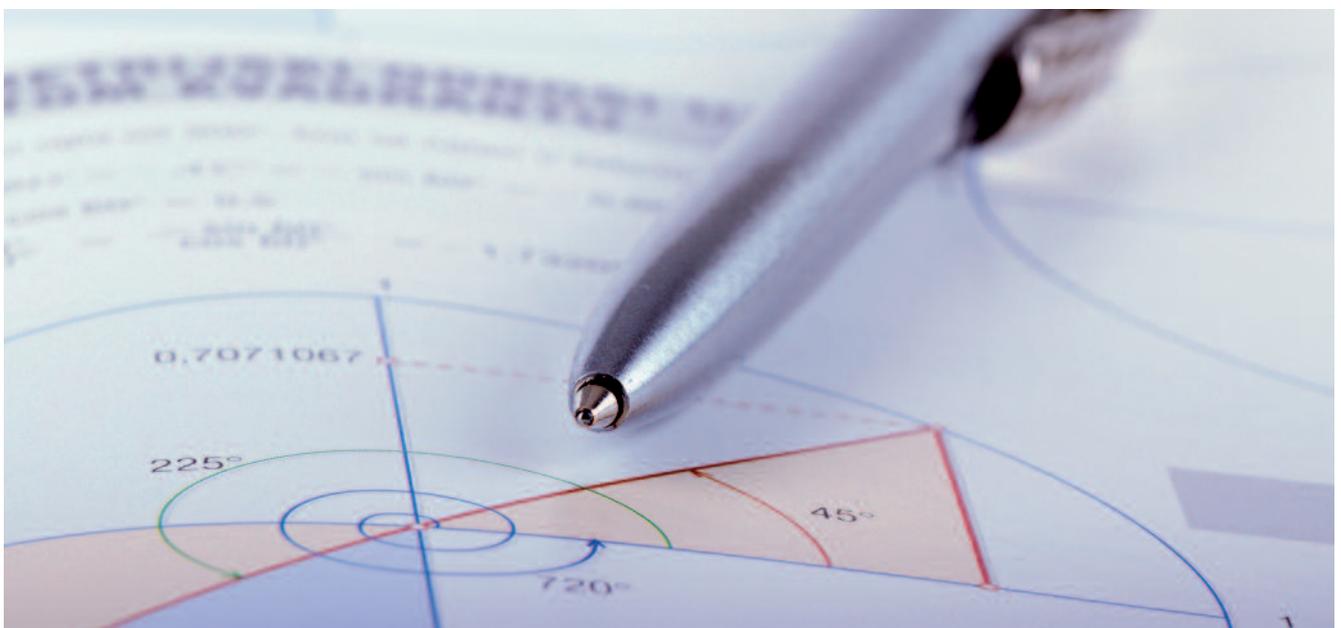
Documentación de modelos

El tercer elemento clave en el desarrollo de los modelos es su documentación, sobre la que los reguladores están ejerciendo una presión creciente, y que bien gestionada es una palanca efectiva de control del riesgo de modelo.

De forma previa al inicio de la validación de cada modelo, es necesario completar su documentación de una manera exhaustiva. La documentación debería seguir unas plantillas unificadas y aprobadas por la función de MRM, y debería permitir la réplica del modelo completo por parte de un tercero independiente, o incluso su traspaso a un nuevo modelizador para su actualización o mejora sin necesidad de un proceso costoso.

La documentación de un modelo debería contener al menos los siguientes elementos:

- ▶ Fuentes de datos: bases de datos utilizadas, criterios de extracción aplicados, validaciones efectuadas, responsables de la fuente de datos y de la extracción, etc.
- ▶ Memoria metodológica del modelo: descripción del modelo, necesidad y objetivos, alcance, usos previstos, limitaciones y asunciones, justificación y descripción detallada de la metodología empleada, detalle de los datos empleados y justificación en términos de idoneidad, calidad y robustez, etc.
- ▶ Memoria de calibración del modelo: en el caso de modelos que contienen parámetros calibrados con datos de mercado o históricos, descripción detallada de la metodología, *benchmarks* aplicados, cuantificación de la incertidumbre de los estimadores, y frecuencia, alertas y procedimiento para su recalibración.



- **Ajustes expertos:** se estudia el impacto de los ajustes expertos al modelo; por ejemplo, la decisión manual cuando se modifica el dictamen automático asignado por la estrategia de decisión (forzajes u *overrides*).

Por ejemplo, un buen seguimiento de un modelo de decisión en riesgo de crédito permitiría evaluar numerosos aspectos, como el poder predictivo del modelo, la eficacia del punto de corte en términos de mora, el carácter vinculante de la estrategia de decisión automática (*scoring* + reglas), el correcto funcionamiento y el orden de aplicación de las reglas de decisión, el porcentaje de decisión manual y, en consonancia, la idoneidad de las atribuciones, los forzajes u *overrides* y la tipificación de sus motivos, el coste de oportunidad (solicitudes denegadas o desistidas), o el uso de criterios adicionales a los estadísticos (por ejemplo, rentabilidad y costes) en las decisiones, entre otros.

Para este fin, es útil disponer de herramientas que cubran todo el ciclo de seguimiento de modelos (Fig. 9) y que además permitan realizar análisis *what-if* y poner en producción de forma ágil las modificaciones a los modelos que se deriven de las observaciones del seguimiento²⁷.

Validación de modelos

La validación de los modelos es un elemento central para la mitigación del riesgo de modelo, que trata de realizar un cuestionamiento (*challenge*) efectivo e independiente de las decisiones tomadas durante su desarrollo, seguimiento y uso.

La periodicidad y la intensidad de la validación deben ser proporcionadas al riesgo de cada modelo, medido a través de su tier. Así, los modelos de mayor riesgo (*tier 1*) deben ser validados por analistas con suficiente experiencia y cualificación con tanta frecuencia como sea necesaria para su

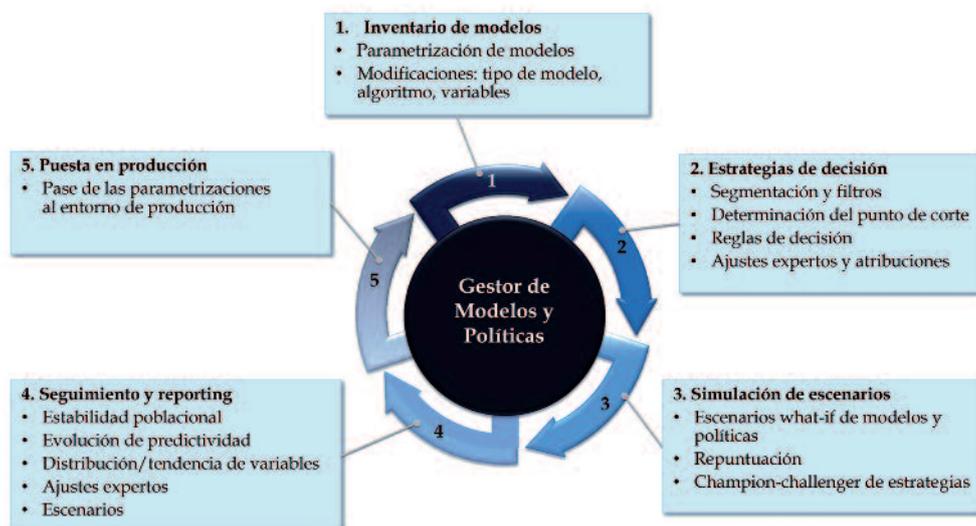
uso, y su documentación ha de ser particularmente exhaustiva, mientras que los modelos de menor riesgo pueden revisarse una vez al año y las exigencias de documentación resultan mucho menores.

De acuerdo con la normativa y las mejores prácticas, hay una serie de principios que la validación de modelos debe cumplir:

1. **Completitud:** todos los modelos que puedan comportar riesgos para la entidad deben ser sometidos al proceso de validación.
2. **Alcance:** la validación no debe ceñirse únicamente a los atributos cuantitativos de los modelos, sino que debe cubrir como mínimo los siguientes aspectos:
 - Metodología.
 - Documentación.
 - Calidad de los datos utilizados.
 - Aspectos cuantitativos.
 - Aspectos cualitativos (test de uso, rol de la Alta Dirección, controles internos, etc.).
 - Entorno tecnológico.
3. **Dimensionamiento y cualificación:** la función de Validación debe contar con un número suficiente de profesionales cualificados para los diferentes aspectos objeto de análisis.
4. **Independencia:** la entidad debe garantizar que la función de Validación pueda emitir su opinión con total independencia, evitando posibles influencias indebidas de las unidades participantes en el desarrollo de modelos u otras.

²⁷A este respecto, Management Solutions dispone del Gestor de Modelos y Políticas del MIR, diseñado con esta arquitectura y funcionalidades.

Fig. 9. Gestor de Modelos y Políticas



5. Responsabilidad: el proceso de validación es responsabilidad de la entidad, y no puede delegarla a terceras partes ni al supervisor.
6. Periodicidad: la validación es un proceso iterativo que se debe realizar con cierta periodicidad (dependiente del tier del modelo).
7. Criterio interno: no hay un único método de validación estandarizado para todas las entidades y para todos los modelos; cada entidad debe fijar sus estándares con su propio criterio, proporcionados al riesgo de modelo.
8. Organización: las funciones, responsabilidades, esquema de trabajo y encuadre dentro de la organización de la función de Validación deben estar documentados y ser aprobados al nivel correspondiente.
9. Documentación: la función de Validación debe mantener actualizada la documentación descriptiva sobre diferentes aspectos:
 - Metodologías de evaluación, medición y seguimiento, así como de los modelos estadísticos.
 - Informes de validación, incluyendo los realizados por Auditoría Interna y los relativos al proceso de validación, con la conclusión claramente señalada (aprobado, condicionalmente aprobado –*waiver*– o desaprobado) y, en su caso, con las acciones concretas para su mejora y aprobación.
 - Histórico de las alteraciones efectuadas en los sistemas internos, incluido el propio sistema de validación.
10. Auditoría: la propia función de Validación debe ser objeto de revisión por parte de Auditoría Interna, quien debe

analizar su trabajo y controles implantados, así como opinar sobre el grado de independencia efectiva de esta unidad.

11. *Vendor models*: los modelos desarrollados por terceras partes (*vendor models*) presentan dificultades adicionales para su validación, porque la documentación puede no ser completa y los datos de construcción pueden no estar disponibles. En estos casos, la entidad debe requerir toda la información necesaria y aplicar los mismos procedimientos para validar el modelo y con el mismo rigor que si fuera interno, limitada tan solo por los requerimientos legales.

Cuantificación del riesgo de modelo

Aunque la normativa no exige la cuantificación del riesgo de modelo, como ya se ha expuesto, la realidad es que algunas entidades ya comienzan a incorporar en su marco de MRM determinadas técnicas cuantitativas para la mitigación del riesgo de modelo.

Estas técnicas se aplican en:

- ▶ Datos, mediante la sensibilidad a errores en las variables o incluso a la falta de alimentación de datos clave para la ejecución de los modelos.
- ▶ Estimaciones, empleando la sensibilidad de los resultados a la volatilidad de los estimadores.
- ▶ Uso, a través de la vigilancia de la evolución del poder predictivo y de otras métricas de seguimiento.

En la siguiente sección se detalla de qué modo se puede llevar a cabo esta cuantificación, junto con un ejercicio que ilustra su aplicación práctica.



Cuantificación del riesgo de modelo



Ciclo de gestión cuantitativa del riesgo de modelo

Más allá de aspectos concretos de valoración de derivados (*model risk AVAs*²⁸) requeridos por parte de la EBA, como ya se ha mencionado, es un hecho que hasta la fecha los reguladores no están exigiendo explícitamente la cuantificación del riesgo de modelo, por lo que no se han observado todavía avances significativos en este ámbito por parte de las entidades²⁹.

Con independencia de lo anterior, y a efectos de gestión, algunas entidades han empezado a trabajar en el ciclo de gestión del riesgo de modelo desde una óptica cuantitativa, con el objetivo de servir de apoyo a la gestión cualitativa de este riesgo recomendada por la norma de la Fed y la OCC. Así entendido, un ciclo de gestión cuantitativa del riesgo de modelo constaría de tres fases (Fig. 10):

- ▶ Identificación de las fuentes del riesgo de modelo y clasificación según los bloques antes mencionados:
 - Carencias en los datos.
 - Incertidumbre en la estimación o errores en el modelo.
 - Uso inadecuado del modelo.

- ▶ Cuantificación del riesgo de modelo inherente a cada una de las fuentes, empleando una metodología basada en la sensibilidad de los *outputs* del modelo a las posibles

fluctuaciones (de los *inputs* o de los estimadores) que caracterizan la incertidumbre asociada a la fuente.

- ▶ Mitigación del riesgo de modelo detectado y cuantificado a través de la aplicación de las medidas oportunas, que dependerán de la naturaleza de cada fuente.

Aunque no es posible eliminar el riesgo de modelo, la aplicación de un enfoque que combine una estructura rigurosa de gestión como la que describen la Fed y la OCC con una cuantificación detallada y prudente como la descrita puede constituir una estrategia efectiva para mitigarlo.

Motivación y planteamiento del estudio

A la luz de la escasa práctica observada en la cuantificación del riesgo de modelo en el sector, que solo abordan algunas entidades, se ha considerado de interés realizar un ejercicio en esta dirección. Para ello, se ha diseñado un estudio cuyo objetivo es cuantificar este riesgo en modelos y parámetros de riesgo de crédito.

²⁸ *Model risk additional valuation adjustments (AVAs)*, detallados en EBA (2013).
²⁹ Constituye una excepción el *buffer* de capital en el ejercicio CCR de Estados Unidos, que algunas entidades están aplicando.

Fig. 10. Ciclo de gestión cuantitativa del riesgo de modelo

Fuentes de MR	Identificación de fuentes	Cuantificación	Mitigación
Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Errores en los datos. • Ausencia de variables críticas. • Falta de profundidad histórica. • Variables mal alimentadas. • Muestra insuficiente. • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad del output a errores/ausencia en cada variable (ej.: máximo impacto). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Data Quality</i>.
Estimaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre en los estimadores. • Parámetros no observables. • Ausencia de consenso de mercado. • Dificultades computacionales. • Incumplimiento de las hipótesis. • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad a estimadores (ej.: máximo impacto de variaciones). • Modelos alternativos. • <i>Benchmark</i> de mercado (ej.: comparación en transacciones). 	<ul style="list-style-type: none"> • Buffer de capital por MR. • Conservadurismo en inputs, estimaciones y outputs. • <i>Back test</i> y <i>stress test</i> del modelo.
Usos	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos no reestimados ni recalibrados en largos periodos. • Modelo utilizado con fines para los que no fue diseñado. • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observar y simular el decaimiento del modelo (poder predictivo) • Observar y simular el impacto del uso erróneo del modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno estricto de uso de modelos. • Herramienta de seguimiento de modelos: <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de límites. • Seguimiento frecuente. • Alertas de deterioro.

El ejercicio consta de tres partes, coincidentes con las tres fuentes de riesgo de modelo descritas:

- ▶ Carenzas en los datos: en esta primera parte se analizará el impacto de la ausencia de información en las variables más predictivas de un modelo; como ejemplo, se tomará un modelo de *scoring* de hipotecas a particulares. Para ello, se reconstruirá el modelo de *scoring* sin estas variables, y se determinarán el decremento de poder predictivo asociado y su relación con los *outputs* de gestión del modelo: la morosidad asumida (error de tipo I) y el negocio que se deja de captar o coste de oportunidad (error de tipo II).
- ▶ Incertidumbre en la estimación o errores en el modelo: en la segunda parte se estudiará el riesgo de modelo proveniente de la incertidumbre en los estimadores. Para ello, se emplearán los intervalos de confianza de los estimadores que arrojan el propio modelo de *scoring*, el cálculo de la PD en el calibrado y el cálculo de la LGD para describir las distribuciones normales que caracterizan estos estimadores. Sobre estas distribuciones se simularán por Monte Carlo diferentes juegos de parámetros y se reestimará el capital regulatorio de la cartera con ellos. De este modo, se obtendrá una distribución del consumo de capital de la cartera, cuya volatilidad emanará exclusivamente de la incertidumbre en la elección de los estimadores.
- ▶ Uso inadecuado del modelo: por último, se analizará el riesgo derivado de la falta de seguimiento y actualización de un modelo de *scoring* ante la evolución de la cartera en el tiempo. Para ello, se contrastará el poder predictivo del modelo en el momento de su construcción con el que mostraba un año después, y se evaluará el impacto en los errores de tipo I y II de la decisión de no actualizarlo.

Con ello, se habrán aportado tres ejemplos reales de cuantificación del riesgo de modelo, con objeto de proporcionar una medida de su relevancia.

Datos del estudio

El estudio se ha construido empleando los siguientes datos, modelos y parámetros³⁰:

- ▶ Una muestra real de construcción de un *scoring*, formada por préstamos hipotecarios. Consta de aproximadamente 200.000 préstamos, con una tasa de incumplimiento en el entorno del 4%.
- ▶ Una muestra real de aplicación, un año posterior a la de construcción, que recoge el *stock* de hipotecas a esa fecha y su desempeño en el año siguiente.
- ▶ Un modelo de *scoring* hipotecario construido sobre la muestra anterior. Consta de 14 variables y tiene un poder predictivo medio-alto (ROC³¹ del entorno del 78%).

- ▶ Los mecanismos de calibrado de los parámetros PD, LGD y CCF de la cartera hipotecaria de estudio.
- ▶ El mecanismo de cálculo de capital regulatorio de Basilea por método IRB.

Principales conclusiones

Las principales conclusiones que se desprenden del estudio son las siguientes:

- ▶ En lo relativo al riesgo de modelo proveniente de los datos, se observa que la presencia de errores en las tres variables más predictivas de un modelo de *scoring* puede llegar a duplicar la tasa de incumplimiento que entra en el balance, o alternativamente reducir un 40% el negocio captado si se desea mantener la misma morosidad.
- ▶ La cuantificación del impacto de la incertidumbre en la estimación de los modelos arroja que el consumo de capital en una cartera hipotecaria puede llegar a estar subestimado hasta en un 8%, con un nivel de confianza del 90%, por el efecto combinado de la incertidumbre en los estimadores del *scoring* (4% de subestimación cuando se considera de forma aislada), en el calibrado de la PD (7%) y en la estimación de la LGD (2%).
- ▶ Por último, en lo que se refiere al uso inadecuado, se observa que la falta de actualización de un modelo durante 12 meses puede conducir a decrementos de en torno a un 10% de su poder predictivo. La consecuencia de este decremento es un aumento de hasta el 67% de la tasa de incumplimiento, o alternativamente una reducción de un 15% en el volumen de negocio captado (i. e., un incremento del coste de oportunidad de un 15%) si se fija el punto de corte de modo que se mantenga la misma morosidad.

En síntesis, aparte de los efectos cualitativos ya descritos, el riesgo de modelo puede tener impactos cuantitativos muy relevantes, que pueden llevar a tomar decisiones de gestión erróneas o a subestimar el consumo de capital de una entidad. Por ello, algunas entidades contemplan en sus marcos de MRM técnicas robustas de cuantificación del riesgo de modelo, orientadas a mitigarlo de manera apropiada.

³⁰Todos los datos, modelos y parámetros han sido alterados parcialmente para garantizar la confidencialidad, pero de forma que se mantengan la representatividad y la robustez del estudio.

³¹Receiver operating characteristic, medida del poder predictivo de un modelo de respuesta binaria.

Cuantificación de la incertidumbre: intervalos de confianza

El proceso de estimación de parámetros poblacionales suele acompañarse de la obtención de intervalos de confianza, que otorgan una estimación más realista del parámetro ya que representan un rango o conjunto de valores dentro de los cuales se encuentra el verdadero valor del estimador con una probabilidad determinada (establecida por el nivel de confianza). Así, un intervalo con nivel de confianza $1 - \alpha$ para un parámetro θ se representa como:

$$[\theta_1, \theta_2] \text{ donde } P(\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2) = 1 - \alpha$$

Existen dos enfoques generales para la estimación de intervalos de confianza:

- Paramétricos, en los cuales se asume una distribución conocida del estimador.
- No paramétricos, en los que no se asume conocimiento alguno sobre la distribución.

A continuación se presentan brevemente algunas técnicas habituales para la obtención de intervalos de confianza de los parámetros tanto paramétricos (tomando como ejemplo una regresión logística) como no paramétricos (como el cálculo de estimadores de tendencia central, como medias o medianas).

Intervalos de confianza de los estimadores de la regresión logística (métodos paramétricos)

Generalmente se usa la regresión logística para relacionar respuestas binarias discretas (como puede ser el impago o pago de una deuda) con un conjunto de variables explicativas, y por ello es el algoritmo más utilizado en los modelos de *scoring y rating*. Esta relación se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{logit}(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta'x$$

Donde x es el vector de variables explicativas empleadas en el modelo, π es la probabilidad de que ocurra la respuesta Y que se pretende predecir, condicionada a x (es decir, $\pi = P(Y=1|x)$), α es la intersección en el origen de la curva, y β es el vector con las pendientes de las variables x .

Al modelizar mediante una regresión logística, se obtienen los parámetros α y β , llamados pesos o estimadores. Por tanto, la principal fuente de riesgo de modelo en una regresión logística es el error cometido en la estimación de sus pesos, y para cuantificarlo se pueden emplear sus intervalos de confianza.

Los intervalos de confianza de Wald, llamados también intervalos de confianza normales, se basan en que los estimadores se comportan de forma asintóticamente normal, y admiten una expresión cerrada. Así, el intervalo de confianza $100 \cdot (1-\alpha)\%$ de Wald para el estimador β_j es, simplemente:

$$I_\alpha = \hat{\beta}_j \pm z_{1-\alpha/2} \hat{\sigma}_j$$

donde z_p es el percentil $100 \cdot p\%$ de la distribución normal estándar, $\hat{\beta}_j$ es el estimador máximo-verosímil de β_j , y $\hat{\sigma}_j$ es la estimación del error estándar de $\hat{\beta}_j$.

A partir de los intervalos de confianza obtenidos, es sencillo obtener la distribución empírica de la puntuación de cada registro de la muestra, que es la pieza clave mediante la cual se puede calcular el error de modelo que se está asumiendo. Los pasos para hacerlo serían:

- Para cada estimador β_j , se considera la función de la distribución normal $F_j = N(\hat{\beta}_j, \hat{\sigma}_j)$, centrada en el estimador del peso y con desviación típica igual al estimador de su error estándar.

- Se simula una cantidad elevada (n) de números aleatorios x_k , según una distribución uniforme entre 0 y 1, $X \sim U(0,1)$.
- Para cada $k \in \{1..n\}$, se simula un juego completo de estimadores β_j de la regresión logística mediante la inversa de sus respectivas funciones de distribución, $\beta_j^k = F_j^{-1}(x_k)$.
- Con cada juego de estimadores, se puntúa la cartera completa.

De este modo se obtiene la distribución de la puntuación de cada registro de la cartera, a partir de la cual se pueden estimar intervalos de confianza, volatilidades y otras medidas de cuantificación del riesgo de modelo que arroja la incertidumbre natural en la estimación de una regresión logística.

Intervalos de confianza de estimadores de tendencia central (métodos no paramétricos)

Para establecer la incertidumbre asociada a un estimador calculado mediante un estimador de tendencia central (como una media o mediana, que por ejemplo se emplean en el cálculo de la LGD en riesgo de crédito) suelen emplearse técnicas no paramétricas que no requieren conocer o asumir una distribución del estimador. Una de las técnicas más habituales es el *bootstrapping*, que tiene sus bases en el muestreo aleatorio y consiste fundamentalmente en generar muestras de tamaño n para obtener la función de distribución de los estimadores seleccionados (media, mediana, etc.) de todas las muestras generadas.

En particular, los pasos para desarrollar los intervalos de confianza del estimador seleccionado para el cálculo de un estimador β serían los siguientes:

- Dada la muestra de construcción del parámetro constituida por n observaciones, $x = (x_1, \dots, x_n)$, se genera una muestra aleatoria con reemplazamiento de la muestra original para obtener una muestra *bootstrap* $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$.
- A continuación se genera el estadístico de interés para la muestra *bootstrap*, $\beta^* = \beta(x^*)$.
- Los pasos 1 y 2 se repiten N veces con N suficientemente grande. Generalmente para el cálculo de intervalos de entre el 90% y 95% de confianza se sugiere que N ascienda a valores superiores a 1.000 iteraciones³².
- Tras las N iteraciones, se dispondrá de una secuencia de estimadores *bootstrap* $\beta_1^*, \dots, \beta_N^*$ que puede emplearse para estudiar la distribución del estadístico.

La distribución de los estimadores *bootstrap* permitirá, entre otras cosas, el cálculo de un intervalo de confianza tipo percentil para β del $(1-\alpha) \cdot 100\%$. Este intervalo estará dado por los cuantiles $(q_i(p_1), q_i(p_2))$ de las N réplicas *bootstrap* con $p_1 = \alpha/2$ y $p_2 = (1-\alpha)/2$.

³²Efron y Tibshirani (1993).

Parte I: carencias en los datos

El primer ejercicio se centra en cuantificar el impacto del riesgo de modelo a través de carencias en los datos (Fig. 11). Para ello, partiendo de un modelo real de *scoring* de hipotecas, se construyen dos modelos:

- ▶ Modelo A: el *scoring* resultante de eliminar la variable más predictiva y reentrenar el modelo.
- ▶ Modelo B: el *scoring* resultante de eliminar las tres variables más predictivas y reentrenar el modelo.

En el primer caso se observa un decremento del poder predictivo de cerca de 2 puntos porcentuales, y en el segundo caso de casi 9 puntos porcentuales.

Con los dos modelos obtenidos se repuntúa la cartera completa y para cada modelo se realizan dos análisis *what-if*, moviendo el punto de corte, para responder a las siguientes preguntas:

- ▶ Si en el nuevo modelo se fijase un punto de corte que mantuviera constante la morosidad que el modelo acepta (error tipo I), ¿cuánto aumentaría el coste de oportunidad, medido como el volumen de negocio que se deja de captar?
- ▶ Y si, por el contrario, en el nuevo modelo se fijase un punto de corte que mantuviese inalterado el volumen de negocio que el modelo capta (error tipo II), ¿cuánto aumentaría la morosidad que el modelo acepta?

Los resultados obtenidos son los siguientes (Fig. 12):

- ▶ Al reconstruir el modelo sin la variable más predictiva, mantener la tasa de incumplimiento igual a la del modelo original reduce el volumen de negocio captado en un 5%

(i. e., multiplica el coste de oportunidad por 1,05), y mantener el volumen de negocio captado por el modelo original multiplica la tasa de incumplimiento también por 1,05.

- ▶ Al reconstruir el modelo sin las tres variables más predictivas, mantener la tasa de incumplimiento igual a la del modelo original reduce el volumen de negocio captado en un 40% (i. e., multiplica el coste de oportunidad por 1,40), y mantener el volumen de negocio captado por el modelo original multiplica la tasa de incumplimiento por 1,98 (es decir, casi se duplica).

Por tanto, como se puede observar, la presencia de errores en las variables más predictivas, en caso de ser suficientes como para invalidar su utilización en el modelo, tiene efectos muy relevantes sobre la morosidad y sobre el volumen de negocio que el modelo aprueba.

Fig. 12. Resultados del primer ejercicio: variación de morosidad vs. coste de oportunidad

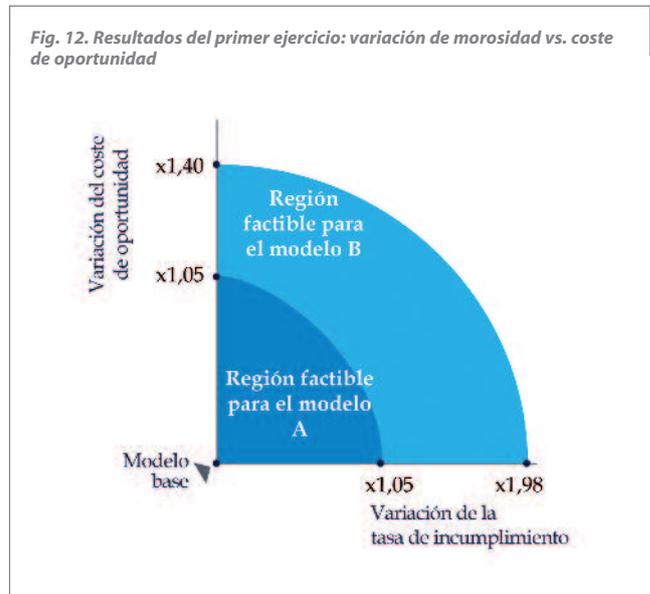
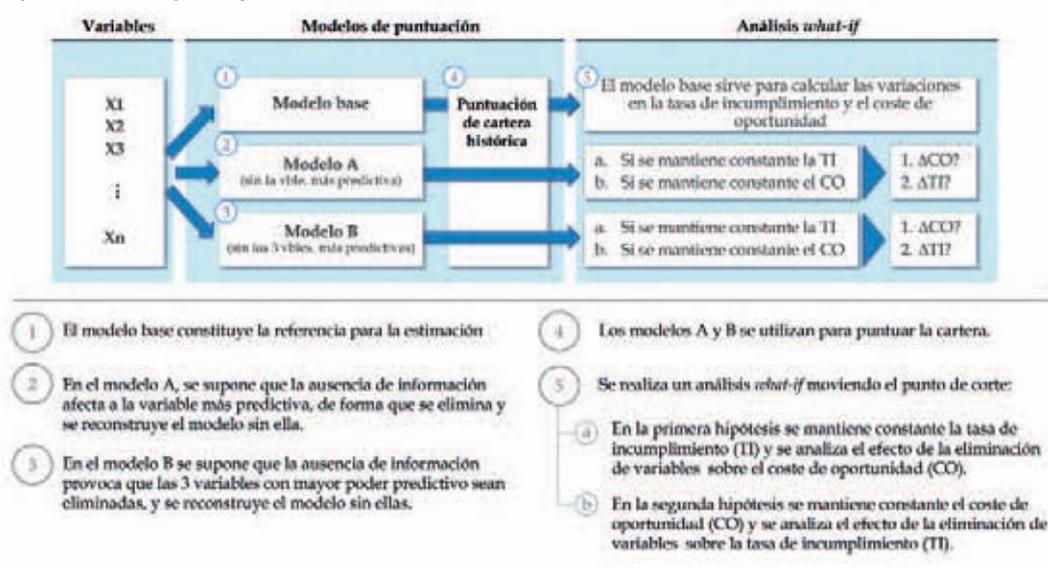
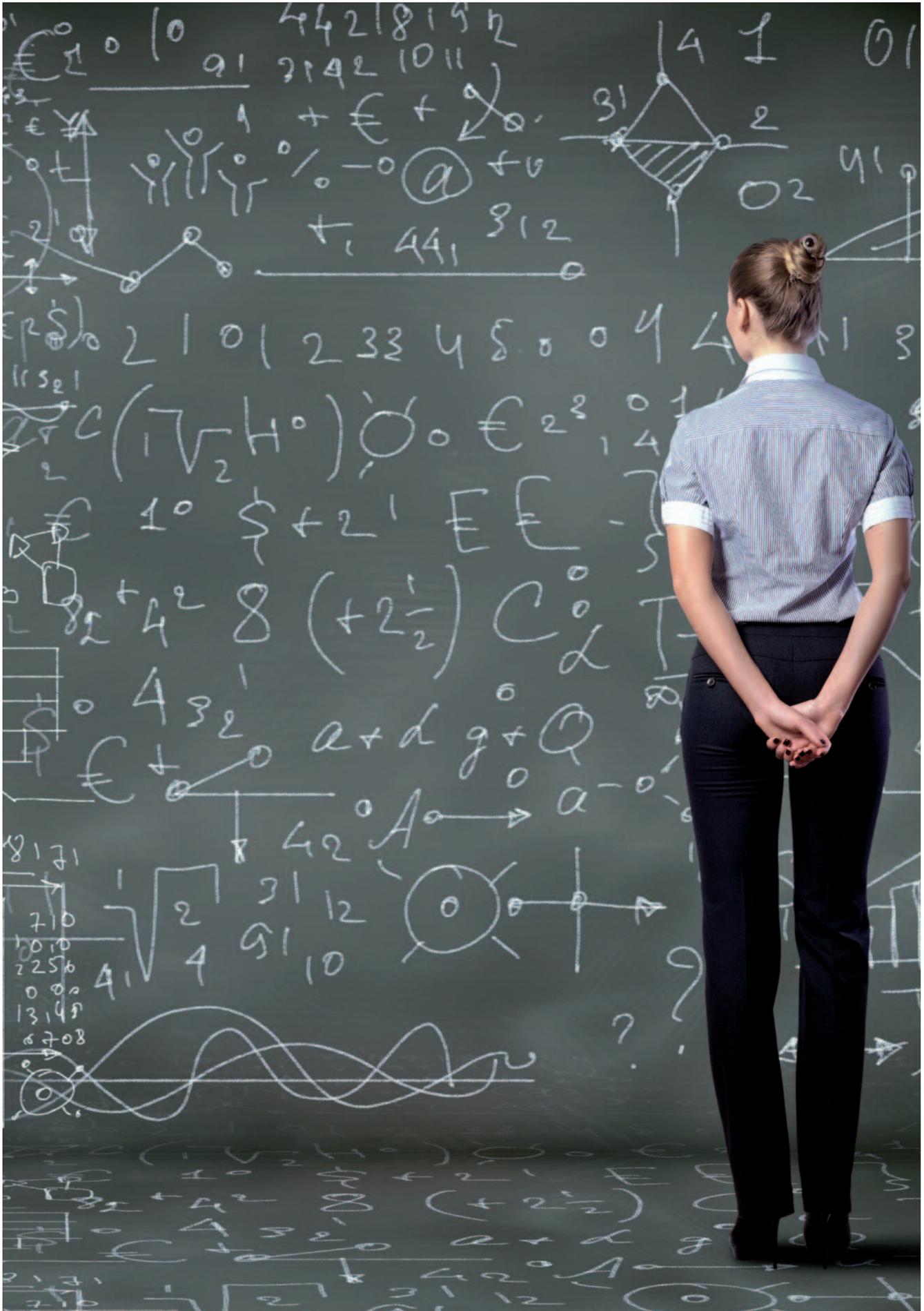


Fig. 11. Síntesis del planteamiento del primer ejercicio





Parte II: incertidumbre en las estimaciones

El segundo ejercicio trata de cuantificar el impacto del riesgo de modelo a través de la incertidumbre implícita en los estimadores (Fig. 13). Para ello, partiendo de un modelo real de *scoring*, el calibrado de la PD, la estimación de la LGD y la fórmula de capital de Basilea, se realizan cuatro simulaciones de Monte Carlo:

- ▶ Partiendo del intervalo de confianza de cada estimador del modelo de *scoring*, se reconstruye su distribución normal. Empleando estas distribuciones normales, se simulan 10.000 juegos de parámetros, y por tanto 10.000 modelos, y con ellos se puntúa la cartera completa y se calcula el capital, manteniendo las PD y LGD originales. De este modo, se estima la sensibilidad del capital a la incertidumbre en los estimadores del modelo de *scoring*.
- ▶ A partir del intervalo de confianza de las PD en el calibrado, se simulan 10.000 juegos de PD, y con ellos se calcula el capital, manteniendo el *scoring* y la LGD originales. De este modo, se estima la sensibilidad del capital a la incertidumbre en el calibrado de la PD.
- ▶ De forma análoga, se realiza una simulación sobre las LGD, manteniendo el *scoring* y las PD originales, para determinar la sensibilidad del capital a la incertidumbre en la estimación de la LGD.
- ▶ Por último, se realiza una simulación agregada, en la que fluctúan de acuerdo con sus intervalos de confianza tanto los estimadores del *scoring* como las PD y las LGD, y se calcula el capital. Con ello se estima la sensibilidad del capital a la incertidumbre combinada del *scoring*, el calibrado de la PD y la estimación de la LGD.

Los resultados obtenidos, con un nivel de confianza del 90%, son los siguientes (Fig. 14):

- ▶ Como consecuencia de la incertidumbre en los estimadores del *scoring*, la cifra de consumo de capital podría llegar a moverse un 4% arriba o abajo.
- ▶ La incertidumbre en el calibrado de la PD podría arrojar oscilaciones de hasta un 7% arriba o abajo en la cifra de capital.
- ▶ La incertidumbre en la estimación de la LGD puede llegar a mover el capital un 2% arriba o abajo.
- ▶ Por último, el efecto combinado de las tres simulaciones anteriores muestra que el capital podría llegar a moverse un 8% arriba o abajo por el riesgo de modelo que proviene de la incertidumbre en sus componentes.

Por tanto, como se puede observar, la incertidumbre en las estimaciones podría llevar a una situación en la que el capital esté subestimado en hasta un 8%, exclusivamente por razón de riesgo de modelo, lo que con un criterio conservador debería contemplarse y tratar de mitigarse.

Fig. 14. Resultados del segundo ejercicio: variación (multiplicador) del capital en cada simulación y en la simulación combinada

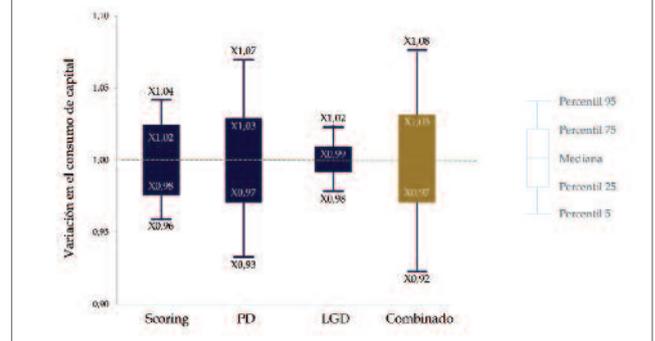
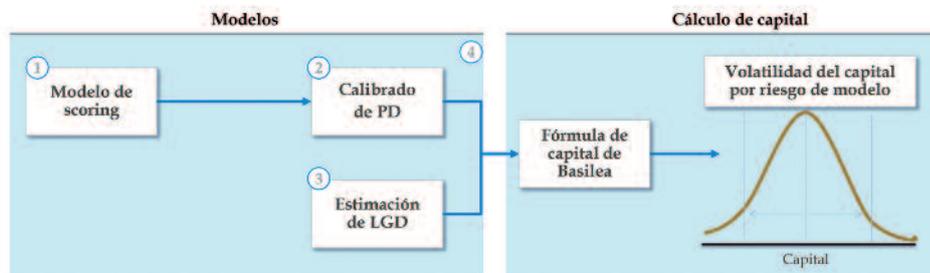


Fig. 13. Síntesis del planteamiento del segundo ejercicio



El análisis se realiza simulando por Monte Carlo diferentes juegos de estimadores a partir de su volatilidad, medida a partir de sus intervalos de confianza.

- 1 En el primer escenario se simulan variaciones únicamente en los estimadores del *scoring*, cada uno según su intervalo de confianza, y se recalcula el capital con 10.000 modelos con distintos juegos de estimadores.
- 2 En el segundo escenario se simulan variaciones únicamente en el cálculo de la PD, de acuerdo con el intervalo de confianza que arroja el proceso de calibrado, y se recalcula el capital con 10.000 juegos de PD distintos.
- 3 En el tercer escenario se simulan variaciones únicamente en la estimación de la LGD, de acuerdo con el intervalo de confianza implícito en su cálculo, y se recalcula el capital con 10.000 juegos de LGD distintos.
- 4 Por último, en el cuarto escenario se calcula el efecto en el capital de variaciones simultáneas en el modelo de *scoring*, el calibrado de la PD y la estimación de la LGD, para recoger el error de modelo combinado de los tres procesos.

Parte III: uso inadecuado del modelo

El último ejercicio pretende cuantificar el impacto del riesgo de modelo por razón de su uso inadecuado (Fig. 15). El uso inadecuado puede comprender la aplicación de un modelo a una población distinta a aquella con la que fue construido (por ejemplo, aplicar un *scoring* construido con una cartera de hipotecas de un país a la misma cartera de otro país, o a la cartera resultado de la fusión con otra entidad). Un caso particular y no tan evidente de este uso inadecuado es la aplicación de un modelo sobre la misma cartera tras un periodo de tiempo prolongado sin verificar si sigue siendo aplicable, especialmente si media un cambio de ciclo económico que pueda transformar sustancialmente la población.

Para reflejar este caso, en este ejercicio se ha partido de un modelo de *scoring* y se ha cuantificado el impacto de no actualizarlo durante 12 meses. Para ello:

- ▶ Se aplica el modelo a la cartera al cierre de cada uno de los 12 meses posteriores a su construcción.
- ▶ Con los incumplimientos reales durante el año posterior, se mide el poder predictivo del modelo, y se observa cómo va disminuyendo con el paso del tiempo.
- ▶ Se realizan dos análisis *what-if*, moviendo el punto de corte, para responder a las mismas preguntas que en el primer ejercicio:
 - Si al aplicar el modelo al final del mes 12 se fijase un punto de corte que mantuviera constante la morosidad que el modelo en su construcción aceptaba (error tipo I), ¿cuánto aumentaría el coste de oportunidad, medido como el volumen de negocio que se deja de captar?

- Y si, por el contrario, al aplicar el modelo al final del mes 12 se fijase un punto de corte que mantuviese inalterado el volumen de negocio que el modelo captaba en su construcción (error tipo II), ¿cuánto aumentaría la morosidad que el modelo acepta?

Los resultados obtenidos son los siguientes (Fig. 16):

- ▶ Se observa un decaimiento del poder predictivo de más de un 10% (8 puntos de ROC) a los 12 meses.
- ▶ Aplicando el modelo 12 meses después de su construcción, mantener la tasa de incumplimiento igual a la del momento de construcción reduce el volumen de negocio captado en un 15% (i. e., multiplica el coste de oportunidad por 1,15), y mantener el volumen de negocio captado por el modelo original multiplica la tasa de incumplimiento por 1,67.

El tercer ejercicio, por tanto, muestra que el riesgo de modelo que emana de su uso inadecuado (en este caso, su falta de actualización) puede tener un impacto considerable sobre la morosidad y sobre el volumen de negocio captado.

Fig. 16. Resultados del tercer ejercicio: análisis *what-if* de morosidad vs. coste de oportunidad

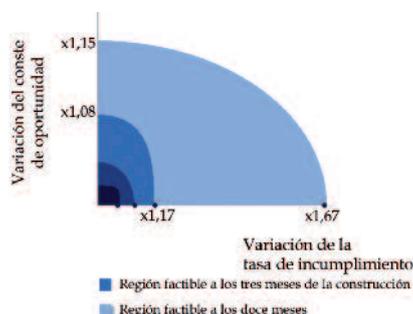
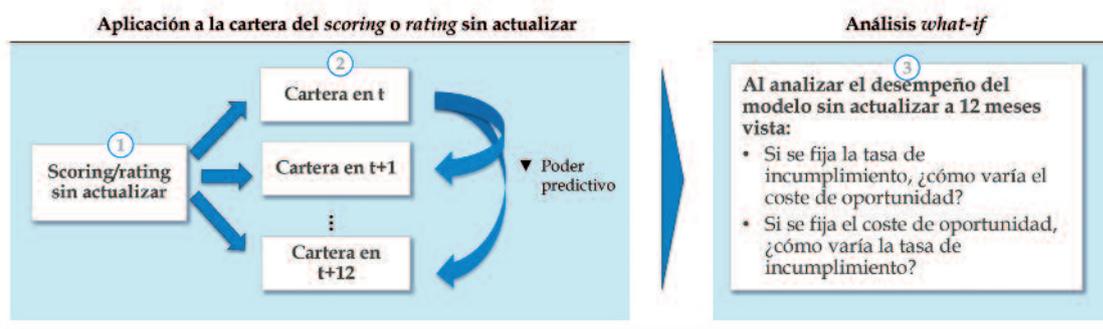


Fig. 15. Síntesis del planteamiento del tercer ejercicio



- 1 Se parte de un modelo de *scoring* o *rating* que no se actualiza durante 12 meses.
- 2 Se aplica el modelo sobre la cartera cada uno de los 12 meses siguientes a la fecha de construcción, en los que el poder predictivo irá cayendo de forma natural.
- 3 Se analiza el impacto de no actualizar el modelo sobre el coste de oportunidad y sobre la tasa de incumplimiento.

Mitigación del riesgo de modelo

Como se puede apreciar en el estudio, el riesgo de modelo es complejo de cuantificar de forma directa, y no siempre son aplicables ni tienen sentido medidas cuantitativas para cubrirlo, tales como un *buffer* de capital o una dotación a provisiones.

Por esta razón, en la práctica las entidades orientan su cuantificación del riesgo de modelo hacia una identificación de la sensibilidad de los modelos a errores que pudieran derivar en pérdidas (ya sean económicas o reputacionales).

El ciclo de cuantificación, por tanto, se completa con las posibles acciones mitigantes del riesgo de modelo que se desprenden de este análisis de sensibilidad. Entre ellas se pueden incluir las siguientes (según cada fuente de riesgo de modelo):

Carencias en los datos

- ▶ Refuerzo del gobierno del dato.
- ▶ Establecimiento de una función de Data Quality, que vele por la calidad, integridad, trazabilidad y consistencia de los datos que alimentan los modelos.
- ▶ Introducción de una batería de reglas de validación de *inputs* y de reglas expertas sobre los *outputs*, en especial en el contexto de carencias de datos.

Incertidumbre en la estimación o errores en el modelo

- ▶ Cualificación y experiencia de los modelizadores y los validadores del modelo.
- ▶ Validación de los modelos efectiva, crítica e independiente.
- ▶ Conservadurismo en *inputs*, estimaciones y *outputs*, medido y debidamente justificado.
- ▶ *Backtest* periódico del modelo, que coteje el *output* previsto con el observado y concluya sobre el grado de precisión del modelo.
- ▶ *Stress test* del modelo, que lo someta a diferentes escenarios de tensión de sus *inputs* y concluya sobre el desempeño del modelo en tales situaciones.
- ▶ Soporte académico o *benchmark* de mercado, cuando sea aplicable, para las decisiones metodológicas adoptadas.
- ▶ Utilización de modelos alternativos para el contraste de resultados.

- ▶ Elaboración de análisis complementarios que discutan la validez de los resultados del modelo con información adicional.
- ▶ En ocasiones, dotación de un *buffer* de capital o provisiones por riesgo de modelo.

Uso inadecuado del modelo

- ▶ Gobierno estricto de los modelos, que incluya el establecimiento de límites a su utilización y su validación y aprobación explícita para cada uso.
- ▶ Incremento de la supervisión humana, en especial durante la primera etapa tras la puesta en producción del modelo.
- ▶ Seguimiento periódico del modelo, incluyendo la monitorización automatizada y frecuente de su poder predictivo y un sistema de alertas tempranas de deterioro.
- ▶ Inventario exhaustivo de los modelos de la entidad, con la obligación de censar todo modelo que se emplee en la toma de decisiones.
- ▶ Ejecución de pilotos antes de la primera puesta en producción y tras cada cambio sustancial en modelos de elevado riesgo.

Propagación de la incertidumbre en la concatenación de modelos

La propagación de la incertidumbre es un efecto inevitable de los modelos estadísticos que surge cuando un modelo se alimenta de la estimación proporcionada por otro modelo, lo que puede amplificar el error.

Por ejemplo, el resultado de los modelos de *scoring* crediticio es una variable de entrada para la calibración de la probabilidad de impago (PD), que a su vez alimenta los modelos de consumo de capital. La combinación de la incertidumbre estadística en cada paso puede llevar a una elevada volatilidad del resultado final (en este caso, el capital) por razón de riesgo de modelo.

El método más común para la medición de la incertidumbre en estadística es el uso del error absoluto de las variables, Δx y de su desviación típica, σ . Si las variables están correlacionadas, se debe considerar además su covarianza para el cálculo de la propagación del error.

Propagación del error en combinaciones lineales

Sea $f_k(x_1, \dots, x_n)$ un conjunto de m funciones que son combinaciones lineales de n variables x_1, \dots, x_n con coeficientes de combinación A_{k1}, \dots, A_{kn} , ($k=1 \dots m$); es decir:

$$f_k = \sum_{i=1}^n A_{ki}x_i = Ax$$

Entonces se obtiene la matriz de varianzas-covarianzas de f como:

$$cov_{ij}^f = \sum_k \sum_l A_{ik} cov_{kl}^x A_{jl} = Acov^x A^T$$

Donde cov^x es la matriz de varianzas-covarianzas del conjunto de variables x .

Las expresiones anteriores representan la propagación del error de un conjunto de variables en la función de la que forman parte. Cuando los errores en el conjunto de variables x no están correlacionados, la expresión anterior se reduce a:

$$cov_{ij}^f = \sum_k A_{ik} (\sigma_k^2)^x A_{jk}$$

Propagación del error en combinaciones no lineales

Cuando f es una combinación no lineal del conjunto de variables x , se puede realizar una propagación en un intervalo para calcular intervalos que contienen todos los valores consistentes de las variables. En un enfoque probabilístico, la función f debe linealizarse por su aproximación de primer orden de su serie de Taylor:

$$f_k \approx f_k^0 + \sum_i \frac{\partial f_k}{\partial x_i} x_i \approx f^0 + Jx$$

donde $\partial f_k / \partial x_i$ denota la derivada parcial de f_k con respecto a la variable i -ésima y donde J es la matriz jacobiana de f . Dado que f^0 es una constante, este término no contribuye al error de f . Por lo tanto, se tiene que la propagación del error sigue el caso lineal del apartado anterior reemplazando los coeficientes lineales A_{ik} y A_{jk} por las derivadas parciales $\partial f_k / \partial x_i$ y $\partial f_k / \partial x_j$:

$$cov^f = Jcov(x)J^T$$

Ejemplos

A continuación se muestra una tabla con las varianzas de distintas funciones de variables reales A, B con desviaciones típicas σ_A, σ_B , covarianza y constantes a, b . Dado que la mayoría de modelos estadísticos se pueden construir como una composición de estas funciones, a partir de ellas es inmediato deducir cómo la volatilidad de las variables originales se traslada al resultado final del modelo combinado.

Función	Varianza
$f = aA$	$\sigma_f^2 = a^2 \sigma_A^2$
$f = aA + bB$	$\sigma_f^2 = a^2 \sigma_A^2 + b^2 \sigma_B^2 + 2ab \cdot cov_{AB}$
$f = AB$	$\sigma_f^2 \approx f^2 \left[\left(\frac{\sigma_A}{A} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B} \right)^2 + 2 \frac{cov_{AB}}{AB} \right]$
$f = \frac{A}{B}$	$\sigma_f^2 \approx f^2 \left[\left(\frac{\sigma_A}{A} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B} \right)^2 - 2 \frac{cov_{AB}}{AB} \right]$
$f = aA^b$	$\sigma_f^2 \approx f^2 \left(b \frac{\sigma_A}{A} \right)^2$
$f = a \cdot \ln(bA)$	$\sigma_f^2 \approx \left(a \frac{\sigma_A}{A} \right)^2$
$f = a \cdot \log_{10}(A)$	$\sigma_f^2 \approx \left(a \frac{\sigma_A}{A \cdot \ln(10)} \right)^2$
$f = ae^{bA}$	$\sigma_f^2 \approx f^2 (b \sigma_A)^2$
$f = a^{bA}$	$\sigma_f^2 \approx f^2 (b \cdot \ln(a) \sigma_A)^2$
$f = A^B$	$\sigma_f^2 \approx f^2 \left[\left(\frac{B}{A} \sigma_A \right)^2 + (\ln(A) \sigma_B)^2 + 2 \frac{B \cdot \ln(A)}{A} cov_{AB} \right]$

Como se puede observar, la volatilidad del error puede aumentar rápidamente con solo concatenar dos modelos estadísticos, lo que tiene serias implicaciones al cuantificar el riesgo de modelo en un sistema de decisión y refuerza la necesidad de establecer controles de razonabilidad en los resultados intermedios.

Bibliografía

Banco de España (2007). *Documento de Validación nº 2. Criterios sobre validación interna de modelos avanzados de gestión de riesgos.*

Banco de España (2008-14). *Guía del Proceso de Autoevaluación del Capital de las Entidades de Crédito (PAC)* (revisiones de 2009, 2011 y 2014).

Bank for International Settlements (2013), Statistical release OTC derivatives statistics at end-June 2013.

Basel Committee on Banking Supervision (2004-06). *Convergencia internacional de medidas y normas de capital.* Marco revisado en 2006. Versión integral.

Basel Committee on Banking Supervision (2005-1). *Basel Committee Newsletter No. 4 (January 2005). Update on work of the Accord Implementation Group related to validation under the Basel II Framework.*

Basel Committee on Banking Supervision (2005-2). *Basel Committee Newsletter No. 6 (September 2005). Validation of low-default portfolios in the Basel II Framework.*

Basel Committee on Banking Supervision (2006). *Basel Committee Newsletter No. 9 (September 2006). The IRB Use Test: Background and Implementation.*

Basel Committee on Banking Supervision (2010-11). *Basilea III: Marco regulador global para reforzar los bancos y sistemas bancarios* (revisión de junio de 2011).

EBA-CEBS (2006). *Guidelines on the implementation, validation and assessment of Advanced Measurement (AMA) and Internal Ratings Based (IRB) Approaches.*

EBA (2013). *RTS on Prudent Valuation, Consultation Paper.*

EBA (2014). *Model Validation (Single Rulebook).* <https://www.eba.europa.eu/regulation-and-policy/model-validation> (en desarrollo).

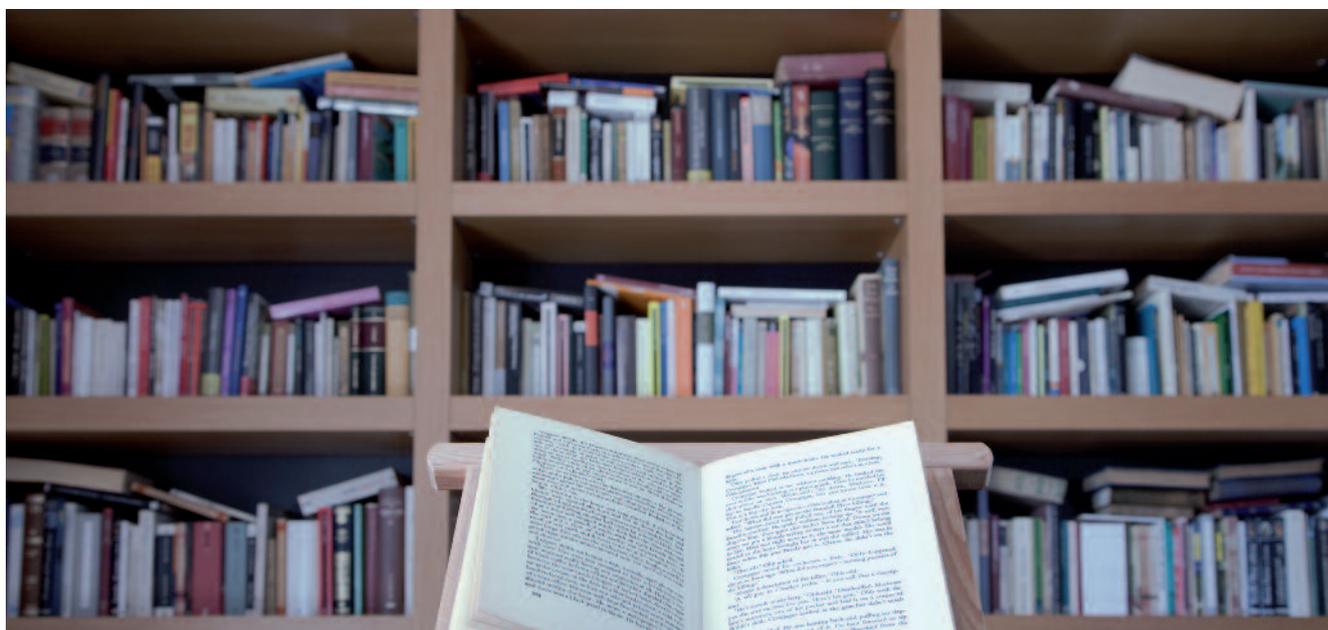
Efron, B. y Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap.* Chapman and Hall, London.

Management Solutions (2013). *Análisis de impacto de las pruebas de resistencia del sistema financiero.*

MIT Sloan Management Review. T. H. Davenport y J. G. Harris (2005). *Automated Decision Making Comes of Age.*

Office of the Comptroller of the Currency y Board of Governors of the Federal Reserve System (2011-12). *Supervisory Guidance on Model Risk Management.*

Securities & Exchange Commission (SEC) y Commodity Futures Trading Commission (CFTC) (2010). *Findings regarding the market events of May 6, 2010. Report of the staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issues.*



Glosario

ALM: gestión de activos y pasivos (*assets and liabilities management*).

Análisis *what-if*: simulación del impacto de uno o más escenarios concretos de las variables de entrada (*inputs*) sobre los resultados (*outputs*) de un proceso.

Buffer de capital: recargo de capital, cuyo objetivo es garantizar que una entidad sea capaz de absorber las pérdidas derivadas de su actividad en periodos de estrés.

CCF: factor de conversión del crédito (*credit conversion factor*).

Curva ROC (*receiver operating characteristic*): curva empleada para analizar el poder predictivo de un modelo de salida binaria. Representa la relación entre el error de tipo I (clasificar incorrectamente sucesos adversos) y el error de tipo II (clasificar incorrectamente sucesos favorables).

Distancia de Kolmogorov-Smirnov: test no paramétrico que se utiliza para determinar la similitud de dos distribuciones de probabilidad entre sí. Utiliza el supremo (máximo) de la diferencia absoluta entre la distribución empírica y la estimada. Se emplea como métrica de poder predictivo en modelos de salida binaria.

EAD: exposición en el momento de impago (*exposure at default*). Tiene un componente de exposición fuera de balance (disponibles, compromisos, etc.) para el que hay que hacer determinados supuestos. Por ejemplo, para una línea de crédito $EAD = \text{dispuesto} + CCF \times \text{disponible}$, donde CCF es el factor de conversión de crédito.

EBA (*European Banking Authority*): autoridad independiente de la Unión Europea, cuyo objetivo principal es mantener la estabilidad financiera dentro de la Unión y salvaguardar la integridad, eficiencia y funcionamiento del sector bancario. Se estableció el 1 de enero de 2011 como parte del Sistema Europeo para la Supervisión Financiera (ESFS) y absorbió al anterior Comité Europeo de Supervisores Bancarios (CEBS).

Error de tipo I: término estadístico que hace referencia al error proveniente de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta.

Error de tipo II: término estadístico que hace referencia al error proveniente de aceptar la hipótesis nula cuando es falsa.

Fed (*Federal Reserve System*): banco central de Estados Unidos, fundado en 1913 con el objetivo de proveer a la nación de un sistema monetario y financiero más seguro, flexible y estable. Con los años, su papel en el sector bancario y económico se ha expandido, incluyendo actividades como dirigir la política monetaria nacional, supervisar y regular las instituciones bancarias o proveer de servicios financieros a entidades depositarias.

Flash crash: caída rápida, profunda y volátil en los precios de activos ocurrida en un periodo muy breve de tiempo; por ejemplo, la ocurrida el 6 de mayo de 2010 en Estados Unidos.

Forzaje (*override*): decisión manual que contradice el resultado de un modelo estadístico.

Índice de poder o coeficiente de Gini: métrica que sirve para analizar de manera cuantitativa el poder discriminante de un modelo de salida binaria, basándose en la ordenación que hace de los eventos adversos y favorables.

IRB (*Internal Rating Based*): método avanzado de estimación de capital regulatorio basado en modelos de rating internos. Para acceder a él, las entidades deben cumplir un conjunto de requisitos y obtener autorización del supervisor.

KYC: información relevante de clientes (*know your customer*) obtenida con diversos objetivos, como el cumplimiento regulatorio respecto a fraude, blanqueo de capitales, financiación del terrorismo o corrupción.

LGD: pérdida en caso de impago (*loss given default*). Es igual a 1 menos la tasa de recuperación. Según Basilea II, párrafo 468, debe ser calculada teniendo en cuenta una coyuntura económica desfavorable.

LTV: relación entre el importe pendiente de un préstamo y el valor de la garantía asociado (*loan to value*). Se emplea en préstamos con garantía real, principalmente hipotecarios.

Model Risk Additional Value Adjustment (AVA): ajuste necesario para la correcta valoración de posiciones en el trading book.

OCC (*Office of the Comptroller of the Currency*): agencia federal estadounidense que se encarga de la regulación y supervisión de bancos nacionales, oficinas federales y agencias de bancos extranjeros. Tiene como objetivo principal garantizar que operen de forma segura y sólida, así como el cumplimiento regulatorio, incluyendo el tratamiento justo e imparcial de clientes y su acceso al mercado financiero.

PD: probabilidad de incumplimiento (*probability of default*).

RWA: activos ponderados por riesgo (*risk weighted assets*); se trata de la exposición (dentro o fuera de balance) ponderada por el riesgo que comporta para la entidad, calculado de acuerdo con los métodos que el regulador establece.

Scoring/rating: modelo que asigna una puntuación a cada objeto de calificación (solicitudes/contrapartes) de acuerdo con su calidad crediticia. En caso de calificar el binomio solicitud-cliente, se trata de un modelo de *scoring*; en caso de calificar contrapartes, se trata de un modelo de *rating*.

Simulación de Monte Carlo: técnica utilizada para aproximar la probabilidad de un evento mediante la ejecución de múltiples simulaciones utilizando variables aleatorias.

Stress test: técnica de simulación utilizada para determinar la resistencia de una entidad ante una situación financiera adversa. En un sentido más amplio, se refiere a cualquier técnica para evaluar la capacidad para soportar condiciones extremas, y es aplicable a entidades, carteras, modelos, etc.

VaR (*Value at Risk*): técnica estadística utilizada para cuantificar el nivel de riesgo financiero asumido en un periodo de tiempo con un determinado nivel de confianza.



Nuestro objetivo es superar las expectativas de nuestros clientes convirtiéndonos en socios de confianza

Management Solutions es una firma internacional de servicios de consultoría centrada en el asesoramiento de negocio, finanzas, riesgos, organización y procesos, tanto en sus componentes funcionales como en la implantación de sus tecnologías relacionadas.

Con un equipo multidisciplinar (funcionales, matemáticos, técnicos, etc.) de más de 1.300 profesionales, Management Solutions desarrolla su actividad a través de 18 oficinas (9 en Europa, 8 en América y 1 en Asia).

Para dar cobertura a las necesidades de sus clientes, Management Solutions tiene estructuradas sus prácticas por industrias (Entidades Financieras, Energía y Telecomunicaciones) y por líneas de actividad (FCRC, RBC, NT) que agrupan una amplia gama de competencias -Estrategia, Gestión Comercial y Marketing, Organización y Procesos, Gestión y Control de Riesgos, Información de Gestión y Financiera, y Tecnologías Aplicadas-.

En la industria financiera, Management Solutions presta servicios a todo tipo de sociedades -bancos, entidades aseguradoras, sociedades de inversión, financieras, etc.- tanto organizaciones globales como entidades locales y organismos públicos.

Luis Lamas

Socio de Management Solutions
luis.lamas.naveira@msspain.com

Javier Calvo

Gerente de Management Solutions
javier.calvo.martin@msspain.com

Marta Herrero

Supervisora de Management Solutions
marta.herrero.martin@msspain.com

Ana Isabel Bocos

Experienced Senior de Management Solutions
ana.bocos@msspain.com

Diseño y Maquetación
Dpto. Marketing y Comunicación
Management Solutions - España

© **Management Solutions. 2014**
Todos los derechos reservados



www.managementtsolutions.com

Madrid Barcelona Bilbao London Frankfurt Warszawa Zürich Milano Lisboa Beijing
New York San Juan de Puerto Rico México D.F. Bogotá São Paulo Lima Santiago de Chile Buenos Aires