



## ARTÍCULO

# Stress test bancarios: Selección de indicadores claves para la estabilidad financiera

María Elizabeth Cristófoli <sup>a\*</sup> y Javier Garcia Fronti <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Banco de España, Madrid, España. Correo electrónico: elizabeth.cristofoli@bde.es

<sup>b</sup> Universidad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: javier.garciafronti@economicas.uba.ar

### JEL CODES

G28; C52; C81; C82

### KEYWORDS:

Stress testing;  
Scenarios;  
Shock;  
Factors

**Abstract:** Financial crises impact on societies, which could lead to an economic stagnation. A historical example of this dynamic was the bankruptcy of the Bretton Woods agreement, in force from 1944 to 1971, when the president of the United States of America decided to devalue the dollar (Bernstein, 1984), which generated the need to begin to coordinate the finances at international level in a different way to the one known at that moment. The changes implemented after the bankruptcy of said agreement have proved not to be sufficient. Reflecting this is the last major global financial crisis that began in the US in 2007 and extended to other economies as of 2008. Although academics and regulatory institutions do not agree on the origin, scope and conclusions of this crisis (Lo, 2012), work has begun on a global level to try to mitigate the effects in case of similar situations, and to stabilize markets urgently.

Among the macroprudential tools that have had wide implementation and development to analyze the risks and effects of a possible new crisis are the calculation and analysis of the resistance of the entities to different hypothetical crisis situations. The current models implemented to carry out these analyzes are stress testing, which are designed by regulatory and supervisory entities, and in some cases they are even executed, generally using historical scenarios. The definition of such scenarios must consider the comments made by Dees, Henry & Martin (2017), who argue that these should reflect a sufficiently severe, but plausible financial crisis situation, but the more severe or extreme are the defined scenarios, less plausible they become. Despite the great progress made in this type of tests, there is a long way to go.

In this work, reference is made to the stress testing analyzes, more specifically to the definition and construction of the scenarios that allow carrying out this type of analysis. For this, more than 500 factors have been considering (typical of the banking and generic systems of macroeconomic level), associated with the credit risk of the Spanish financial system and the Andon methodology was applied to select those factors that met the SMART requirements (Specific, Measurable, Archivable, Relevant and Time-bond). The techniques and methodologies proposed in this study have allowed selecting five factors that seek to reflect and help the study of the sensitivity of the Spanish financial system against credit risk, from a generic perspective (top-down).

*Este artículo es de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan, necesariamente, los del Banco de España ni los del Eurosistema.*

*\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: elizabeth.cristofoli@bde.es*

<https://doi.org/10.32826/cude.v43i121.116>

0210-0266/© 2020 Asociación Cuadernos de Economía. Todos los derechos reservados

**CÓDIGOS JEL**

G28; C52; C81; C82

**PALABRAS CLAVE:**Stress testing;  
Escenarios;  
Shock;  
Factores

Resumen: Las crisis del sistema financiero impactan negativamente en las sociedades afectadas, muchas veces llevando a la economía a un estancamiento. Un ejemplo histórico de esta dinámica fue la quiebra del acuerdo de Bretton Woods, vigente desde 1944 a 1971, cuando el presidente de Estados Unidos de Norteamérica decidió devaluar el dólar (Bernstein, 1984) lo que generó la necesidad de comenzar a coordinar las finanzas a nivel internacional de una forma diferente a la conocida hasta el momento. Los cambios implementados con posterioridad han demostrado no ser suficientes. Reflejo de ello es la última gran crisis financiera mundial iniciada en EEUU en 2007 y extendida a otras economías a partir de 2008. Si bien los académicos e instituciones reguladoras no se ponen de acuerdo sobre el origen, el alcance y las conclusiones de esta crisis (Lo, 2012), sí se ha empezado a trabajar a nivel mundial para atenuar los efectos de situaciones similares, y para estabilizar los mercados de forma urgente.

Entre las herramientas macroprudenciales que han tenido amplia implementación y desarrollo para analizar los riesgos y efectos de una nueva crisis están las de cálculo y análisis de la resistencia de las entidades a diferentes situaciones hipotéticas de crisis. Los actuales modelos implementados para llevar a cabo dichos análisis son los stress testing que diseñan las entidades reguladoras y supervisoras, y, en algunos casos, incluso los ejecutan utilizando escenarios históricos. En la definición de tales escenarios se debe tener en cuenta lo comentado por Dees, Henry & Martin (2017), quienes plantean que éstos deben reflejar una situación de crisis financiera suficientemente severa pero plausible (cuanto más extremos son los escenarios definidos, menos plausibles son). A pesar de los grandes avances alcanzados en este tipo de pruebas, hay mucho camino por recorrer.

En este trabajo se hace referencia a la definición y construcción de los escenarios que permiten llevar a cabo este tipo de análisis. Para ello se trabajó con más de 500 factores (propios de los sistemas bancarios y genéricos de nivel macroeconómico), asociados al riesgo de crédito del sistema financiero español y se aplicó la metodología Andon para seleccionar aquellos factores que cumplieran con los requerimientos SMART (Specific, Measurable, Archivable, Relevant y Time-bond). Las técnicas y metodologías propuestas en este estudio han permitido seleccionar cinco factores que buscan reflejar y ayudar al estudio de la sensibilidad del sistema financiero español frente al riesgo de crédito, desde una óptica genérica (top-down).

## Introducción

La reciente crisis financiera mundial ha incrementado la necesidad de las autoridades de analizar y estudiar la situación real de las finanzas. Una de las herramientas implementadas actualmente por muchas de las autoridades financieras (supervisores y bancos centrales) son las metodologías de *Stress Testing* que permitan analizar la fortaleza de las entidades o del sistema financiero frente a diferentes escenarios.

Este planteamiento exige la previa definición de uno o varios escenarios de análisis, sobre los que se basarán los cálculos y que forzosamente deben estar contextualizados a un grupo de indicadores (variables), que serán los que condicionarán el escenario seleccionado. Para poder definir dicho o dichos escenarios, en primer lugar se debe conocer el objeto que se desea analizar; en este caso concreto, es el tipo de riesgos a poner a prueba. En este documento se definirán en primer lugar los diferentes tipos de riesgos, que son los que comúnmente afrontan las entidades bancarias. Posteriormente, se focaliza la atención en el riesgo de crédito, que es el de mayor importancia en el sistema bancario español.

Este trabajo continua con la presentación de diversos desarrollos de modelos de *Stress Testing*, con el objeto de detallar y especificar las diferencias con los análisis de sensibilidad y aspectos regulatorios desarrollados asociados al mismo. Uno de los mayores problemas de los desarrollos actuales es que los escenarios definidos condicionan fuertemente el resultado de las pruebas, lo que genera la posibilidad de manipulaciones en caso de querer un resultado determinado y la necesidad de demostrar la fortaleza y veracidad de los escenarios que se definen, para evitar esas arbitrariedades. Esta situación genera un nuevo tipo de incertidumbre en los diferentes actores económico, provocando que el resultado obtenido con estas pruebas aumente la inseguridad, en vez de conseguir la tranquilidad deseada.

Para resolver esta disyuntiva, se plantea la posibilidad de encontrar el escenario de riesgo sólo condicionado a la selección de los factores o indicadores que definirán dicho escenario. Para poder llevarlo a cabo, un apartado de este estudio está dedicado a la selección de indicadores para desarrollar el modelo deseado desde el punto de vista de la autoridad reguladora. Allí se ha tenido en cuenta la existencia de diferentes tipos de indicadores, sin perder de vista que los indicadores que se pretendan seleccionar den información agregada del sistema y no datos individuales de las entidades (es decir, sean datos *top-down*). Se incorporan dos grupos de indicadores, en primer lugar los que se identifican en este trabajo como indicadores micro- que hacen referencia a datos agregados de los balances y cuentas de resultados de las entidades bancarias españolas-, y en segundo lugar datos macro -referidos a factores e indicadores económicos de publicación oficial.

El trabajo está estructurado en cuatro apartados, comenzando por la descripción de los tipos de riesgos del sistema financiero, a continuación se incorporan detalles sobre los modelos de *Stress Testing* y la regulación actualmente vigente asociada a ellos, en tercer lugar se presentan espe-

cificaciones sobre la construcción de los escenarios necesarios para ejecutar los modelos de *Stress Testing* previamente introducidos, y finalmente se describen cuestiones y metodologías asociadas a la selección de factores que permitan identificar las vulnerabilidades del sistema financiero, incluyendo los cálculos y selección de los factores. Finaliza incorporando una conclusión sobre los aspectos incluidos.

## 1. Los diferentes riesgos involucrados en el sistema bancario

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de las entidades financieras es prestar dinero a diferentes agentes (personas físicas o jurídicas), el mayor riesgo que deben gestionar es que los prestatarios, a quienes se les ofrecieron créditos, no hagan frente a los mismos. Esto generaría una pérdida de solvencia que debería ser absorbida con diferentes instrumentos creados por los reguladores para evitar el colapso de las entidades, o incluso del sistema.

Como indica Lynch (2013), a partir de 1990 la medición y gestión del riesgo de crédito ha tenido una gran evolución, y los estudios realizados entre los años 2000 y 2006 sentaron las bases para el desarrollo de las cuestiones regulatorias conocidas como Basilea II (BIS, 2004). Consultando este documento, se puede ver que a nivel regulatorio se recomienda a las entidades la gestión y cálculo de diferentes tipos de riesgos, además del riesgo de crédito. Ellos son: riesgo de mercado, riesgo operativo, posiciones accionarias y riesgo de tipo de interés en la cartera de inversión.

En este punto lo más importante es tener en claro a qué se refiere cada tipo de riesgo. Para su definición existe mucha bibliografía, pero se resumirán las principales definiciones utilizadas por la EBA, dado que son las aplicadas uniformemente en Europa. El riesgo de Mercado: contempla los riesgos de pérdidas en posiciones dentro y fuera de balance generadas por movimientos adversos en los precios de mercado. (European Banking Authority, s. f.). El riesgo de Crédito: contempla los riesgos derivados por la disminución de la calidad crediticia de una obligación (European Banking Authority, s. f.), lo que genera un aumento de la probabilidad de impago, y su posterior morosidad, según definición de la CRR (Reglamento 575/2013/UE, 2013b, págs. 112, art 178). El riesgo Operacional: contempla los riesgos de pérdidas derivadas de procesos internos inadecuados o fallidos, personas y sistemas o de acontecimientos externos. El riesgo operacional incluye los riesgos legales, pero excluye el riesgo de reputación y está incluido en todos los productos y actividades bancarias. (European Banking Authority, s. f.).

En el caso de las entidades españolas, en el Informe de Estabilidad Financiera de noviembre 2016 (Banco de España, 2016a) se puede ver la evolución de los tipos de riesgo que las afectan: exposición internacional y exposición doméstica (lo que incluye la evolución del activo total), el comportamiento del crédito, los activos dudosos, los activos adjudicados, las refinanciaciones y finalmente el ratio de morosidad (que reflejaría en forma resumida el riesgo de crédito). Todos estos componentes estarían incorporados en los tipos de riesgo de crédito y sistémico. Además, si se busca analizar el riesgo sistémico, se debe incorporar

al análisis los riesgos de contagio entre entidades. Para cada uno de estos análisis se han desarrollado diferentes metodologías, algunas alineadas con las recomendaciones regulatorias y otras que han tenido que ir adaptándose rápidamente a la velocidad cambiante del mercado actual, generando modificaciones.

El mercado bancario español tiene un fuerte componente de riesgo de crédito, como se detallará en el apartado 1.1, lo que ha generado que se haya trabajado fuertemente en estudiar, medir y estimar este tipo de riesgos, tanto en el ámbito del propio regulador como en el de las entidades bancarias y financieras, y también en el sector de investigaciones académicas. Ello se justifica porque el principal objetivo de una entidad financiera es el de obtener ganancias a través del *spread* de la tasa de interés, es decir, por la diferencia entre el precio que paga por el dinero que los diferentes agentes depositan en la entidad y el dinero que obtiene por prestarlo a otros agentes. Este tipo de negocios lleva aparejado un alto riesgo de crédito, ya que si los agentes a quienes se les prestó no realizan los pagos correspondientes, se enfrenta a un riesgo de solvencia por no poder pagar sus propias deudas con los agentes que han depositado el dinero en la entidad. Las entidades bancarias españolas son en general muy tradicionalistas, por lo que en general históricamente han enfocado su negocio en la concesión de préstamos. Por ello se decidió enfocar el desarrollo en la profundización de los mecanismos de análisis y medición en determinados aspectos del riesgo de crédito español, por lo que se considera sumamente importante profundizar en su descripción (apartado 1.1).

Para poder llevar a cabo su medición, Basilea II (BIS, 2004) propone dos formas diferentes de medir el riesgo de crédito; a través de un método que llama Estándar y a través de metodologías internas llamadas *Ratings Based Approach* (IRB). En el caso de la metodología estándar, cada entidad bancaria debe aplicar coeficientes establecidos en el propio documento, en función de diversos parámetros que buscan homogeneizar los perfiles de riesgo (por ejemplo, para los créditos que las entidades financieras otorgan a grandes empresas, llamadas *corporate*, se establecen unos parámetros en función de la calificación crediticia de las mismas). En el caso de las metodologías internas IRB, las entidades deben disponer de unos modelos de calificación, a través de los cuales asignan un *rating* a cada cliente, o un *scoring* en el caso de clientes minoristas, lo que se utilizará como input en el cálculo de la pérdida esperada por los créditos otorgados en cada caso. Esta pérdida esperada tiene 3 componentes principales, probabilidad de *default* (PD), exposición en caso de *default* (EAD) y pérdida generada por el *default* (LGD). Cada uno de estos parámetros ha sido objeto de numerosos desarrollos metodológicos, buscando la mejor estimación posible, siempre que se cumplan los requisitos regulatorios específicos de cada país.

Uno de los puntos principales que ha generado controversias a nivel europeo, es la definición de operaciones en *default*. Por ello en 2016 la EBA ha publicado un documento (European Banking Authority, 2016d) con el objeto de homogeneizar la definición dentro de la Unión Europea, haciendo especial hincapié en las modificaciones necesarias una vez implementadas las nuevas normas contables IFRS 9, ya que éstas basan los registros en la pérdida esperada en vez de

hacerlo en la incurrida. Las modificaciones necesarias a partir de la implementación de la nueva definición establecida por la EBA, debe ser monitoreada por las entidades, ya que generará migraciones de operaciones normales a operaciones en *default*, por lo que quizás sea necesario la reestimación de parámetros y adaptación de metodologías internas (en el caso de las entidades que la posean).

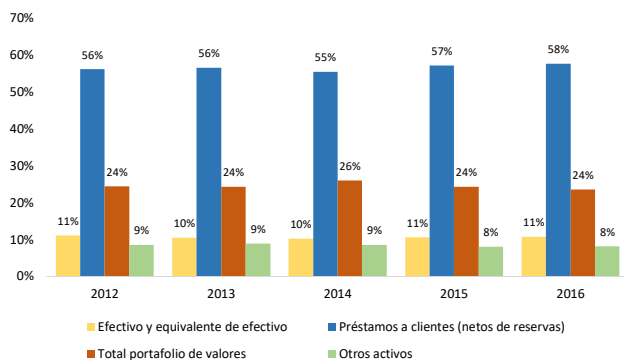
Pero es importante tener en cuenta que estas modificaciones en las definiciones y tratamientos de operaciones y clientes, deben ser trasladadas no sólo a la contabilización de las operaciones y al cálculo de provisiones, sino también a los modelos de *stress testing* de solvencia que tenga desarrollada cada entidad y cada regulador. Como ya se mencionó antes, estos permiten analizar la fortaleza de las entidades y del sistema bancario ante situaciones hipotéticas de crisis, por lo que una modificación en la forma de considerar los *defaults* y los requisitos regulatorios que ello acarrea, genera nuevos escenarios de contingencia y nuevas situaciones de definición de riesgo sistémico (al menos desde el punto de vista del riesgo de crédito).

### 1.1. El Riesgo de Crédito en el sistema bancario español

En todo sistema bancario, el riesgo de crédito (solvencia) al que se encuentran expuestas las entidades es el de mayor impacto. Esto se puede contrastar observando la distribución de los activos del sistema bancario español durante los últimos cinco años en el **Gráfico 1**. Allí se calcula la proporción del tipo de activos que contiene el sistema bancario español<sup>1</sup>, segmentado en las siguientes categorías: (1) efectivo y equivalente de efectivo, lo que refleja la exposición al riesgo de liquidez, (2) préstamos a clientes (netos de reservas), lo que refleja la exposición al riesgo de crédito, (3) total portafolio de valores, agrupando la exposición al riesgo de mercado, (4) otros activos. La información se obtiene a partir de los balances individuales de las entidades del sistema financiero español, teniendo en cuenta la exposición en España, es decir, la economía doméstica. Se advierte que, durante los últimos años, del total de activos, más del 55% está constituido por préstamos a clientes, lo que refleja su alta exposición al riesgo de impago.

En el Informe de Estabilidad Financiera de Banco de España (Banco de España, 2017a) se puede ver la evolución de este tipo de riesgos, encuadrado en dos categorías que reflejan las principales pérdidas que pueden sufrir las entidades: dudosos y adjudicados. Se clasifica como dudosos a operaciones en las que los clientes llevan más de 90 días de retraso en el pago de sus obligaciones para con las entidades financieras. La categoría adjudicados hace referencia a la evolución del número de operaciones y precio de los activos que han pasado a ser propiedad de las entidades bancarias porque estaban como garantía de operaciones que no han sido saldadas, o que han recibido en pago de deudas.

<sup>1</sup> El sistema bancario contemplado incluye todas las entidades bancarias españolas, el banco central (Banco de España), todas las aseguradoras y auxiliares financieros. Sólo hace referencia a la economía doméstica, a partir de la información de los balances individuales de las entidades.

**Gráfico 1:** Distribución de los activos del sistema bancario español (%)<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de SNL Financial en mayo de 2017.

Como se puede ver en dicho informe, dado que España está finalizando su período de crisis iniciado en 2007, la evolución de este riesgo ha ido mejorando en los últimos años de forma acelerada. Según el informe, esto se debe a la mejora en el comportamiento del crédito (es decir, disminución de dudosos), por aumentos del Producto Bruto Interno y mejoras de la tasa de empleo. Sin embargo es importante no bajar la guardia en los períodos de auge, dado que se debe monitorear constantemente el sistema financiero con el fin de predecir una nueva posible futura crisis.

## 2. El auge de los modelos de *Stress Testing*

Con el objeto de generar tranquilidad en los inversores, se han desarrollado metodologías que analizan cuán estable es el sistema financiero frente a una situación crítica. Algunos de estos tipos de análisis son los llamados *Stress Test* o Pruebas de Resistencia. La reciente crisis internacional ha puesto de manifiesto la importancia de estas herramientas. En esta línea Pérez & Trucharte (2011) destacan que las pruebas de resistencia publicadas en Estados Unidos en 2009 y las llevadas a cabo por la *European Banking Authority* (EBA) a nivel europeo, tenían por objeto usar sus resultados para recuperar la confianza de los mercados financieros en el sector bancario. La forma de llevarlas a cabo, es plantear una coyuntura económica extrema y analizar si las empresas o entidades bajo estudio son capaces de afrontarla. Este tipo de pruebas buscan conocer el nivel de pérdidas bajo la ocurrencia de determinado conjunto de eventos, a los que se llama escenarios.

Las autoridades supervisoras mundiales están definiendo metodologías para llevar a cabo estos análisis que devuelvan la confianza a los inversores. Ejemplos de ello son las notas metodológicas publicadas por la *European Banking Authority* (EBA) en abril de 2014 (*European Banking Authority*, 2014) y febrero de 2016 (*European Banking Authority*, 2016a), el documento del Banco Central Europeo (*European Central Bank*, 2014) y el documento sobre *stress testing* macroprudencial del BCE (*European Central Bank*, 2017).

Como indican Pérez Montes & Trucharte Artigas (2013), este tipo de estudios se deben llevar a cabo siguiendo los siguientes pasos: 1° delimitación del alcance del análisis; 2° definición, diseño y calibración de los shocks con los que el sistema va a ser estresado; 3° estimación del impacto de los shocks seleccionados y cuantificación del impacto en términos de las variables determinantes de las condiciones financieras del sistema que va a ser testado y 4° identificación de las posibles consideraciones y medidas políticas derivadas de los resultados obtenidos.

A pesar de llevar varios años de ejecución de este tipo de análisis en diferentes países, se ha podido apreciar la falencia en su definición, en varios aspectos. Algunos de los errores cometidos fueron los siguientes: se realizaban como ejercicios aislados, mecánicos, que no generaban resultados que puedan ser de utilidad a la alta dirección o a los reguladores; había dificultades para poder agregar las exposiciones de toda la entidad; existían problemas para la obtención de un único resultado integrador; en la selección de escenarios no se han tenido en cuenta los eventos extremos sino que tendían a reflejar *shocks* suaves; faltaba tener en consideración las consecuencias por los contagios entre entidades.

La identificación de estas y otras cuestiones han generado impacto a nivel internacional, lo que originó discusiones, revisión de programas existentes, adecuación de estándares, entre otras medidas. Algunas de dichas iniciativas corresponden a las que se están llevando a cabo a partir de las recomendaciones surgidas en grupos de trabajo internacionales de expertos, como los del *Bank of International Settlements* (BIS) o los de la *European Banking Authority* (EBA), que cada país o región adapta a su realidad y teniendo en cuenta que ya en el documento de Basilea II (BIS, 2004) se recomendaba la incorporación del requisito de uso de pruebas de resistencia en el cómputo directo de las exigencias de capital por riesgo de crédito o mercado (Pilar 1) y en el proceso de evaluación interna de suficiencia del capital.

Adicionalmente, para poder desarrollar estas pruebas, es necesario identificar qué tipo de análisis se desea llevar a cabo, ya que se pueden identificar tres tipos diferentes de *stress testing* (ST): ST de las entidades, su objetivo es cumplir los requisitos regulatorios y mejorar la gestión del capital y de la liquidez; ST de los supervisores, su objetivo es confirmar la solidez de las entidades y para llevarlo a cabo se utilizan datos y resultados individuales; y macro ST, donde el objetivo es analizar la estabilidad financiera del sistema, incorporando los análisis de los contagios entre diferentes entidades.

Cualquiera de ellos sólo será completo si incluye los impactos en diferentes tipos de riesgos, como por ejemplo los listados por el Banco Central Europeo (*European Central Bank*, 2014): riesgo de crédito, riesgo de mercado, titulizaciones, margen de interés, otras ganancias antes de provisiones, y otros elementos importantes, como los que se desarrollarán en el siguiente apartado.

<sup>2</sup> El sistema bancario contemplado incluye entidades bancarias, banco central, aseguradoras y auxiliares financieros. Sólo hace referencia a la economía doméstica, a partir de la información de los balances individuales de las entidades.

## 2.1. Los análisis de sensibilidad en los modelos de *Stress Testing*

Como advierte la publicación de la Universidad Italiana Luiss Guido Carli (2016), los modelos de *Stress Testing* pueden ser pensados como modelos de sensibilidad, donde sólo se modifica un factor para ver la reacción de la entidad (o del sistema); o bajo un análisis de escenarios, donde se modifican varios factores al mismo tiempo. Pero, a su vez, los análisis de *stress testing* sobre escenarios pueden ser mejorados con la incorporación de un análisis de sensibilidad sobre los factores que se haya decidido incorporar en el escenario, buscando conocer las reacciones del mercado ante *shocks* específicos en cada uno de dichos factores.

Pero ¿qué son los análisis de sensibilidad? Para responder a ello Saltelli, Tarantola, Campolongo & Ratto (2004, pág. ix) proponen dar respuesta a la siguiente pregunta: “*which of the uncertain input factors is more important in determining the uncertainty in the output of interest?*” Al respecto, plantean diferentes técnicas para llevar a cabo los análisis de sensibilidad. Cuando se hace referencia a los análisis de sensibilidad en estadística, hay que entenderlo como las modificaciones que se obtienen en los resultados de una estimación ante variaciones en un factor que se haya incorporado en la proyección. De esta forma, es posible conocer cuáles son los elementos incorporados en el estudio que afectan en mayor medida a las estimaciones que se estén realizando.

Para seleccionar qué tipo de análisis se puede llevar a cabo en esta situación, un buen referente es el trabajo publicado por Hamby (1994), donde resumen las principales técnicas para llevar a cabo análisis de sensibilidad en función del objetivo que se persiga. Éste señala que los métodos para llevar a cabo estos análisis se deben diferenciar en tres grupos: los que operan sobre una variable a la vez; los que buscan generar una matriz con los datos de entrada para obtener un vector de resultados; y los que requieren particionar un vector particular de valores de entrada basados en los efectos del vector de resultados.

Una parte importante del análisis de sensibilidad que se debe llevar a cabo en el tipo de modelos que se plantea es el que analiza las relaciones entre los factores a incorporar en el modelo. Para ello Hamby (1994) identifica varios análisis, algunos de los cuales se indicarán a continuación: gráficos de dispersión (que ayudan a ver relaciones entre las variables input y output, además de revelar relaciones inesperadas que pueden condicionar los siguientes pasos del proceso), coeficiente de correlación lineal de Pearson, coeficiente de correlación de Spearman, coeficiente de correlación parcial y técnicas de regresión.

Otras medidas también mencionadas por Hamby (1994), son las que analizan las distribuciones de diferentes variables o factores, entre ellas: el test de Smirnov (que mide el grado de similitud entre dos distribuciones, es decir, analiza si dos variables provienen de la misma distribución), el test de Cramer-von Mises (similar al test anterior, pero con cálculos diferentes) y el test de Wilcoxon (para testear si dos distribuciones tienen la misma media). Asimismo, se debe llevar a cabo un análisis de sensibilidad que permita anali-

zar la interacción y asociación entre los diferentes factores analizados (ver apartado 4).

En la práctica actual es requisito seguir marcos regulatorios regionales, el siguiente apartado los analiza en el contexto europeo.

## 2.2. Requisitos regulatorios asociados a los modelos de *Stress Testing* en Europa

Como se indica en Luiss Guido Carli (2016), las principales cuestiones legales europeas referentes a *stress testing* se pueden consultar en la CRD IV (Directiva 2013/36/UE, 2013a), CRR (Reglamento 575/2013/UE, 2013b) y en las guías que la EBA publica bianualmente. Estas normativas hacen referencia tanto a los requerimientos que aplican a las entidades (por ejemplo, el artículo 177 de la CRR), como a los que deben llevar a cabo las autoridades competentes (por ejemplo, el artículo 100 de la CRD IV). Las entidades europeas deben realizar sus pruebas de resistencia en línea con esos requerimientos y alinearse a lo exigido por el regulador de los países donde llevan a cabo su actividad comercial (lo cual no siempre es en territorio europeo), y con lo recomendado por el *Bank of International Settlement* (BIS, 2009).

Adicionalmente la *European Banking Authority* realiza análisis a nivel global, enfocados en la obtención de resultados para los grandes bancos europeos, según las metodologías publicadas (European Banking Authority, 2016a) y los escenarios definidos por ellos (European Banking Authority, 2016b). Los resultados obtenidos en este ejercicio son a nivel de entidad, análisis microeconómicos, teniendo en cuenta aspectos macroeconómicos. Su objetivo es analizar la estabilidad de las entidades particulares ante una situación de crisis hipotética. En línea con este proceso, la Autoridad Bancaria Europea (EBA) ha publicado un documento de consulta sobre las guías de trabajo para los ejercicios de *stress testing* y la supervisión de los *stress testing* (European Banking Authority, 2015). El documento está estructurado en tres grandes secciones: la primera se refiere a las pruebas de resistencia/estrés de las entidades, la segunda, a la supervisión de las pruebas de estrés de las entidades y la tercera, a las pruebas de estrés de los supervisores. Además incluye un apartado relevante, en el cual se propone la unificación de las definiciones/taxonomías de diferentes conceptos ampliamente utilizados en el contexto de este tipo de pruebas.

El Banco Central Europeo (BCE) también realiza sus propias pruebas de estrés (Jiménez, 2015), adaptadas a los requisitos de la EBA pero ampliando el marco de actuación al resto de entidades medianas de sus países de influencia y enfocando el resultado a la obtención de un análisis macrofinanciero (European Central Bank, 2013). A este modelo lo llaman STAMPÉ (*Stress Test Analytics for Macroprudential Purposes in the euro area*), y en base a él se ha publicado un documento (European Central Bank, 2017) proponiendo herramientas analíticas como marcos de referencia del *stress testing* macroeconómico que aplica a las entidades que forman parte del *Single Supervisory Mechanism* (SSM).

Además de los ejercicios de estrés que llevan a cabo los reguladores a nivel europeo, cada uno de los reguladores

nacionales pueden realizar sus propios ejercicios. Este es el caso del regulador español, que tiene desarrollada su propia metodología llamada *Forward Looking Exercise on Spanish Banks* (Banco de España, 2013) que utiliza modelos propios del supervisor, y no los desarrollados por cada entidad en particular. Como en los ejercicios de la EBA y del BCE, este modelo parte del diseño de los escenarios macroeconómicos sobre los que se llevará a cabo la prueba, “*En el diseño de estos escenarios se ha empleado un modelo macroeconómico en el que se han introducido un conjunto de supuestos técnicos acerca de la evolución de las principales variables exógenas*” (Banco de España, 2013, pág. 50). Es decir, el resultado final del ejercicio está fuertemente condicionado a los escenarios previamente definidos y a los supuestos empleados.

### 3. El desarrollo de los escenarios en los modelos de *Stress Testing*

Independientemente del tipo de prueba que se desea llevar a cabo, todo análisis de *stress testing* debe comenzar por la definición de los escenarios (Dees, Henry, & Martin, 2017) que reflejarían una situación de crisis financiera suficientemente severa pero plausible. Como exponen Breuer, Jandacka, Rheinberger, & Summer (2009, pág. 206), “*the quality of a stress test crucially depends on the definition of stress scenarios...*”<sup>3</sup>, pero existe un paradigma sobre la decisión entre escenarios que sean plausibles, es decir que puedan ocurrir, pero que a la vez sean suficientemente severos. Breuer, Jandacka, Mencia & Summer (2012) comentan que cuanto más extremo son los escenarios considerados en los análisis, menos plausibles se vuelven. Se han desarrollado diferentes metodologías que buscan comparar la severidad entre distintos escenarios, algunos de ellos comparando variables por separado, otros utilizando diferentes metodologías estadísticas para incorporar en el modelo comparativo las variables seleccionadas para definir el escenario. Un resumen de estos puntos se puede consultar en Yuen (2013). Dicha publicación reúne diferentes trabajos realizados y metodologías propuestas por Yuen, a partir de los escenarios que se definen en el *Comprehensive Capital Analysis and Review* (CCAR), nombre asignado a la metodología de *stress tests* llevada a cabo anualmente por la Reserva Federal de Nueva York. Un punto que resalta es que la severidad de un escenario dependerá principalmente de la calidad crediticia de la cartera que se esté analizando. Pero si esto se quiere trasladar a nivel sistémico, como es el objetivo de esta propuesta, se debe considerar la calidad crediticia del sistema como un todo, analizando las ventajas y desventajas de la aplicación de modelos *top-down* o *bottom-up*.

Un posible camino para resolver esta disyuntiva es la construcción de modelos de *Reverse Stress Testing*, buscando encontrar el escenario más severo pero plausible con la combinación de factores de riesgo relevantes. Pero este tipo de pruebas puede ser matemática y estadísticamente un ejercicio engorroso (Counterparty Risk Management Policy Group, 2008), ya que se deben combinar un gran número de factores correlacionados entre sí para encontrar

el escenario hasta el cual la entidad sería capaz de sobrevivir sin inconvenientes. Algunos de dichos factores pueden ser identificados en 4 grupos. En primer lugar, los tipos de riesgo: crédito, mercado, operacional, liquidez, otros. En segundo, los factores macro: índice de precios, índice de desocupación, precio de la vivienda, y más. En tercer lugar, los posibles contagios: otro tipo de entidades financieras, *shadow banking*<sup>4</sup>, mercados, y más. Por último, la sostenibilidad: nuevos requisitos a las entidades, medición de cumplimiento de nuevos requisitos. Como indican Grundke y Pliszka (2013), el *Reverse Stress Testing* es matemática y conceptualmente exigente, dado que para “n” factores de riesgo, se debe trabajar con “n” escenarios dimensionales, y para cada escenario individual, se debe calcular su probabilidad de ocurrencia, para poder identificar el escenario más probable.

#### 3.1. Determinación de “shocks” sobre los factores que definen el escenario

Como se puede apreciar en los párrafos anteriores, uno de los mayores inconvenientes en los estudios de *stress testing* es la definición de los escenarios, ya que generalmente se construyen en función de la información histórica y la historia no necesariamente refleja la posible crisis futura que pueda ocurrir. Pero existe otro tipo de escenarios a definir u obtener, como se especifica en el documento de la *International Actuary Association* (International Actuarial Association, 2013), donde se indica la existencia de siete tipos diferentes de escenarios: *Reverse*, Históricos, Sintéticos, *Company-specific*, de evento único, de evento múltiple y escenarios globales. Se elige un tipo de escenario u otro, en función del objetivo que se persiga con el estudio.

Concretamente en los *stress testing* tradicionales, la selección de los *shocks* a incorporar en los factores que definen el escenario generalmente se basa en los datos históricos (en el caso de países con historial de crisis) y/o en el conocimiento de expertos. Pero sobre esos datos históricos, es necesario aplicar modelos que buscan predecir el comportamiento futuro de cada factor incorporado. Entonces, en la definición de cada escenario se deben tener en cuenta muchos supuestos e hipótesis que permitan aplicar cada modelo de estimación elegido. Un ejemplo claro se puede ver en el documento de la Fed (Dodd-Frank, 2017), donde indican en cada escenario cuales fueron los supuestos asumidos para poder definir los *shocks* incorporados en cada caso. Adicionalmente se debe tener en cuenta la interacción de los diferentes factores que se incorporen.

Es decir, hay entidades bancarias e incluso reguladoras con equipos de expertos dedicados exclusivamente a la definición y estimación de los escenarios y de las proyecciones económicas, que serán la base para la incorporación de los “*shocks*”, generalmente definidos por los expertos en *stress testing*. Dichos *shocks* deben ser establecidos teniendo en cuenta el objetivo perseguido con el *stress testing* que se va a aplicar. De esto se deduce que no es lo mismo diseñar un escenario para analizar la capacidad individual de cada entidad bancaria o la del conjunto del sistema, porque en este caso se deberían incorporar efectos adicionales, como

<sup>3</sup> “La calidad de la prueba de resistencia depende crucialmente de la definición de los escenarios”, traducción propia.

<sup>4</sup> “Credit intermediation involving entities and activities (fully or partly) outside the regular banking system” (FSB, 2015:1).

los contagios o el impacto de una crisis a nivel global de la economía por falta de liquidez.

### 3.2. Selección de número de escenarios a utilizar

Como comenta Yuen (2013), la comparación de la severidad entre diferentes escenarios es muy compleja. En general, depende de la interacción entre las diversas variables que se están incorporando al escenario. Además, si se tiene en cuenta que cada escenario no tiene por qué estar diseñado con las mismas variables, su comparación resulta más difícil.

De la experiencia en el campo, se conoce que las autoridades supervisoras aplican sus análisis de *stress testing* sobre tres escenarios, diseñados con las mismas variables pero con diferentes shocks, como ocurre en el modelo CCAR de la Reserva Federal (Dodd-Frank, 2017). Estos son un escenario base, que es el que tiene mayor probabilidad de ocurrir ya que se basa en las proyecciones reales, sin la incorporación de *shocks* adicionales; un escenario 1 (algunas entidades lo llaman medianamente adverso), y un escenario 2 (o severamente adverso). Pero como indicaba en el párrafo anterior, no siempre ocurre que el escenario 2 arroje resultados más severos que el escenario 1.

## 4. Factores/Indicadores claves para la estabilidad financiera española

Un factor altamente importante en el desarrollo de modelos es la selección de las variables explicativas que se utilizan en su estimación. El desarrollo de un modelo que permita analizar la estabilidad de un país o región no está ajeno a este problema. Como se puede ver en las fórmulas propuestas por Jorion (2006, pág. 361), el componente principal en la definición de los escenarios que permitirían llevar a cabo un análisis de resistencia, es la selección de los factores de riesgo que lo definirán, independientemente del tipo de escenario del que se trate (histórico, de evento múltiple, de *reverse*, o cualquier otro). En el caso de los ejercicios de estrés, serían las variables o factores que definen un escenario las que deben ser seleccionadas en primer lugar, para poder llevar a cabo el análisis de resistencia.

Una situación similar enfrentan las agencias de rating internacionales, como Standard & Poors o Moody's cuando deben diseñar los modelos que asignarán los rating soberanos, que son sumamente importantes porque fijan la máxima valoración que podrá obtener una industria que opera en cada país. Las agencias, en el caso de calificar a los soberanos, deben tener en cuenta factores no sólo cuantitativos sino también cualitativos, como la estabilidad política, la coherencia social y económica, y la integración en la economía mundial. (Caouette, Altman, Narayanan, & Nimmo, 2008, pág. 89).

Relacionado al tema de los factores a incorporar en el modelo, es menester tener en cuenta uno de los principios que expone BIS (2009, pág. 12). Concretamente el principio número 7 indica que los ejercicios de estrés deben cubrir un conjunto de riesgos y áreas de negocio, teniendo en cuenta todos los factores de riesgo relevantes, a un nivel de granularidad acorde con el ejercicio que se esté

llevando a cabo. La selección de los factores a incorporar en un modelo de estrés, o de *reverse stress testing*, es sumamente relevante. Para ello se desarrolla esta sección del estudio, donde en primer lugar se comentarán las principales variables de las entidades bancarias españolas y los datos disponibles para poder realizar los cálculos posteriores. A continuación se lleva a cabo el mismo tipo de descripción, pero para el caso de las variables macroeconómicas. Estos dos subapartados permiten exponer las dos áreas que se considera debe tener el modelo, es decir, el componente propio de las entidades bancarias españolas (apartado 4.1) y el componente macroeconómico (apartado 4.2) que permite contextualizar el mercado bancario.

El problema que se plantea a partir de este momento es que, como se señaló en el apartado 3, en el *Reverse Stress Testing* para  $n$  factores de riesgo, se debe trabajar con  $n$  escenarios dimensionales, y para cada escenario individual, se debe calcular su probabilidad de ocurrencia, para poder identificar el escenario más probable. Por ello es importante analizar los posibles factores que se pueden incorporar en el modelo, pero posteriormente es necesario llevar a cabo una reducción de los mismos, utilizando técnicas que se comentarán en el último subapartado de este estudio. Es decir, se proponen diferentes pasos para poder realizar una selección de las variables que formarán parte del modelo final sustentada en cálculos estadísticos, y en la experiencia personal y conocimiento sobre el mercado bancario español.

### 4.1. Principales factores/indicadores bancarios

La información básica de toda entidad bancaria es la disponible en los estados financieros públicos. Ésta permite conocer en forma detallada la composición de las cuentas de las entidades, en función de datos agregados definidos por cada regulador. En el caso de España, la regulación referente a los estados financieros se puede consultar en la página web de Banco de España (Banco de España, 2017b). La normativa regulada referente a los estados financieros, indica que existen dos tipos de estados: los individuales y los consolidados que permite diferenciar los resultados de los grupos o holdings financieros del de las entidades de forma individual.

Cada entidad debe realizar una publicación anual referente a sus cuentas y sus estados financieros públicos. Por su parte, la Asociación Española de Banca (2017) publica de forma individual y de forma agregada los datos referentes a los principales estados financieros públicos de todas las entidades bancarias españolas. En base a dicha información, se han extraído los datos sobre Activo, Pasivo, Patrimonio Neto y Cuentas de Resultados de forma mensual y agregada para España en su conjunto, desde 2005 a 2016<sup>5</sup>. Los datos sobre los estados individuales se presentan con frecuencia mensual y los consolidados trimestralmente. Para ampliar la base de información en el modelo detallado en el punto 3.1, se decidió trabajar con los balances individuales. Esto permite tener en cuenta de forma indirecta el

<sup>5</sup> La Asociación Española de Banca publica la información desde el año 2001, pero los primeros 4 años sólo están disponibles en formato PDF. Para evitar riesgos operacionales, se ha decidido trabajar con los datos desde 2005.



posible contagio entre las entidades, independientemente de que pertenezcan o no a un mismo grupo.

Con los datos obtenidos, es posible construir indicadores de productividad, liquidez, rentabilidad, eficiencia, solvencia, tamaño, pero se decidió trabajar con la información directa, sin construir los ratios, para comprobar los datos de balance que tienen impacto directo sobre la estabilidad financiera del país, ya que el objetivo final no es obtener una evaluación individualizada de las entidades sino un resultado agregado. Esto permite obtener una base de datos con 175 variables (algunas de ellas, desgloses de otras) sobre datos puramente financieros de las entidades. Se ha llevado a cabo un mapeo entre los balances publicados desde enero de 2005 hasta noviembre 2008 y los siguientes publicados desde diciembre de 2008 a diciembre de 2016. Esta modificación de la estructura y forma de presentación de los balances regulatorios corresponde a la implementación de la circular 6/2008 de Banco de España (2008). El mapeo permitió trabajar con los datos históricos de las entidades, independientemente del cambio normativo indicado.

Adicionalmente la EBA publica trimestralmente los resultados sobre los indicadores de riesgo que calcula sobre una muestra de bancos de la Unión Europea (European Banking Authority, 2016e). Su objetivo es detectar vulnerabilidades en el sector bancario, a través de 4 grupos de ratios o valores: solvencia, riesgo de crédito y calidad de los activos, rentabilidad y estructura del balance y liquidez. Pero los datos utilizados para los resultados y gráficos presentados en estos informes, no son publicados, por lo que la información se extrajo de la fuente de datos SNL *Financial*, obteniendo 19 variables. Todas ellas tienen valores no informados, lo que genera una mala calidad de datos. Por esta razón, se decidió descartar dicha información. La calidad de los datos es un condicionante muy fuerte de la calidad de los resultados de un modelo estadístico.

Por último también se decidió incorporar una base de datos que publica el Banco Central Europeo (European central Bank, 2017b) que permite obtener una serie de datos de 36 variables desde 1997 al 2016. Una vez identificadas las principales variables microeconómicas potencialmente relevantes para el modelo que se pretende definir, es necesario ampliar la base de datos con los factores/indicadores macroeconómicos, lo cual se detalla en el siguiente punto.

## 4.2. Principales factores/indicadores macroeconómicos

Entre los indicadores o factores macroeconómicos que pueden afectar a la solvencia de una entidad bancaria, se propone trabajar con la clasificación utilizada en Banco de España (Cristófoli, 2017) dado que ésta se adecua más al objetivo que persigue esta propuesta, orientado a controlar el riesgo macroprudencial del sistema financiero. Entonces los indicadores seleccionados estarían agrupados en: crédito (incluyendo indicadores sobre la evolución, el nivel de endeudamiento y el comportamiento del crédito del sector privado no financiero<sup>6</sup>, el tipo de interés que se aplica, y la

evolución de precios<sup>7</sup>), liquidez (factores e indicadores que hacen referencia a la liquidez de las entidades bancarias y a la liquidez del mercado), concentración (son factores e indicadores que buscan medir la concentración del crédito total y bancario, teniendo en cuenta tipo de acreditado, tipo de portafolio o sector, tipo de entidad), mercados financieros (incorporando factores e indicadores que hacen referencia a las relaciones e interconexiones entre las diferentes entidades bancarias y de estrés sistémico), desequilibrios macroeconómicos (factores e indicadores que hacen referencia a la deuda externa, al sector público en general y a las cuentas nacionales), economía real (engloba indicadores sobre crecimiento económico y desempleo) y morosidad/recurso al Banco Central (datos sobre los activos dudosos y los préstamos del propio banco central a las diferentes instituciones financieras). Pero los detalles de los indicadores que se calculan no se publican, por lo que no es posible incorporar esta información en el modelo final.

En el Informe de Estabilidad Financiera de mayo 2013 (Banco de España, 2013), se indica que el Banco de España (BdE) calcula un Indicador de Riesgo Sistémico (IRS) alineado con los requerimientos establecidos por el Banco Central Europeo (Hollo, Kremer, & Lo Duca, 2012). El Banco de España calcula doce indicadores individuales, agrupados en cuatro segmentos diferentes del sistema financiero:

I) Mercado de deuda pública: 1. Volatilidad del bono español a diez años. 2. Diferencial de rentabilidad entre el bono español a diez años y el bono alemán a diez años. 3. *Credit default swap* a cinco años de la deuda soberana española.

II) Mercado de dinero: 4. Volatilidad del tipo de interés del euríbor a 3 meses. 5. Diferencial de tipos de interés entre el euríbor a tres meses y el bono francés a tres meses. 6. Facilidad marginal de crédito solicitada en el Banco Central Europeo.

III) Mercado de valores: 7. Volatilidad del índice de mercado del sector no financiero en España. 8. Máxima pérdida (en un período de dos años) del índice de mercado del sector no financiero en España. 9. Volatilidad de las opciones sobre el IBEX 35.

IV) Mercado de financiación bancaria: 10. Volatilidad de la rentabilidad idiosincrásica del sector bancario sobre la rentabilidad del IBEX 35. 11. Diferencial de rentabilidad entre la renta fija privada española y la deuda pública española a diez años. 12. Máxima pérdida (en un período de dos años) del índice de mercado del sector financiero en España multiplicada por el inverso del *price-to-book ratio* (cociente entre el valor de mercado y en libros) del mismo índice.

Es posible reproducir tales indicadores, los cuales han demostrado ser buenos marcadores de los períodos de crisis, como señala el Informe de Estabilidad Financiera del Banco de España (Banco de España, 2013). De todas formas, un indicador no es válido por sí solo como predictor de las crisis, sino que condensa la información de los diferentes segmentos del mercado financiero en un único valor. Adicionalmente y alineado con el IRS del BdE, Estévez & Cambón (2015) proponen un indicador muy similar para hacer una medición en tiempo real del riesgo sistémico.

<sup>6</sup> Sector privado no financiero hace referencia a hogares y sociedades no financieras.

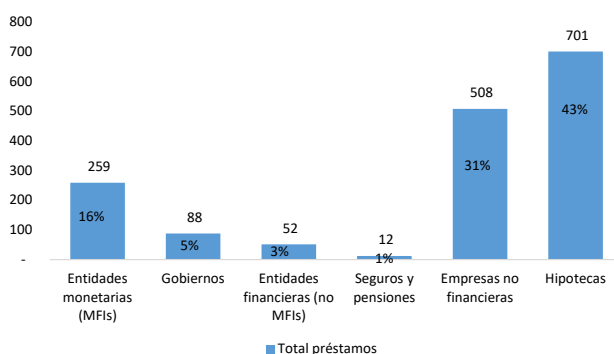
<sup>7</sup> Precios principalmente referidos a la vivienda por la alta exposición de la banca española a este sector.

Dicho indicador (*Spanish Financial Market Indicator*, FMSI) intenta cuantificar el estrés del sistema financiero español y describir la contribución de cada segmento de mercado (mercado de bonos, mercado de renta variable, mercado monetario, intermediarios financieros, mercados extranjeros y derivados). Su construcción se ha basado en los requerimientos del Banco Central Europeo (Hollo, Kremer, & Lo Duca, 2012). Pero los valores históricos de este indicador no se publican, por lo que no es posible utilizarlo.

Es de destacar que los factores que se incorporan en el cálculo de dichos indicadores son considerados relevantes para identificar los períodos de crisis, no así para predecirlos. Es sumamente necesario realizar el análisis de estos factores, ya que permitirían identificar los momentos críticos y conocer de qué segmento del mercado proviene. El Banco de España realiza el cálculo del IRS, que incorpora los datos de todos estos factores, en forma semanal pero no publica sus resultados. Dado que la información que se utiliza para construirlo es pública, se incorporarán sus componentes a la lista de indicadores del modelo propuesto. Como el riesgo de crédito o solvencia que se quiere medir busca predecir el comportamiento del sistema en un período anual, se realizarán los cálculos sobre las variaciones mensuales, tema que se desarrolla en el próximo apartado.

Se incorpora también información macroeconómica de diferentes variables que publica el Banco de España, junto a su información histórica. Se trata de una serie de indicadores estructurales, otra de indicadores financieros y por último indicadores económicos. Finalmente se incorpora a la lista de factores el índice de precios de las acciones (*stock price index growth*), ya que, como concluye Pouvelle (2012), el índice de precios de las acciones tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de los préstamos durante todo el ciclo económico. Esto afecta directamente a los préstamos para la compra de la vivienda, ya que las entidades bancarias españolas están fuertemente expuestas a los productos hipotecarios, como se puede ver en el **Gráfico 2**, referente a datos de marzo 2017:

**Gráfico 2:** Distribución de los préstamos del sistema bancario español - Marzo de 2017 (Miles de Millones)



Fuente: Elaboración propia con datos publicados por Banco de España.

En total se incorporan al análisis 388 factores macroeconómicos, con datos históricos mensuales. Una gran cantidad de factores pueden afectar la estabilidad financiera y son potencialmente adecuados para incorporar en un modelo final de *stress testing* o de *reverse stress testing*. Una pre-

selección de los factores, se realiza en el siguiente punto, con el fin de disminuir los cálculos numéricos y mejorar las predicciones, evitando duplicidades.

### 4.3. Selección de factores/indicadores: Modelo ANDON

Como se detalla en los dos apartados anteriores, se encuentran disponibles aproximadamente 600 factores potenciales para incorporar en el modelo final. Pero, como se dijo en el apartado 3, incorporar ese número de indicadores no es viable ni eficiente; por esta razón se llevará a cabo una selección. Para seleccionar los factores/indicadores a incorporar en el modelo final, existen varios trabajos con diferentes propuestas metodológicas. El de Skoglund & Chen (2009) propone un método no paramétrico para extraer información relativa de factores de riesgo, que es válida para carteras generales no lineales. La medida se basa en la teoría de la información de Kullback e indica que puede utilizarse para juzgar la importancia relativa de los factores de riesgo en la determinación de ganancias y pérdidas, lo cual es útil para seleccionar los factores que se deberían incorporar en los modelos de *stress testing* y/o de *reverse stress testing*.

Licari & Suárez-Lledó (2012) proponen diferentes opciones para reducir el número de variables y factores a incorporar en el cálculo de los modelos; para ello presentan dos métodos: el análisis de factor (FA) y el análisis de componentes principales (PCA). Establecen que, una vez reducidos el número de factores, se puede proceder a los cálculos del RST con modelos lineales o no-lineales (como logarítmicos o logísticos).

Nelsen (Nelsen, 2006) describe diferentes técnicas de análisis de relaciones entre variables, para comprobar la asociación entre ellas, ya sea por concordancia, dependencia u otras medidas (como las basadas en el coeficiente de GINI). Completa el análisis con la descripción de las medidas de dependencia de las colas de las distribuciones, regresiones, cópulas empíricas y dependencias multivariantes. Por su parte, Chok (2008) presenta una comparación entre los métodos de análisis de relación entre factores, la correlación de Pearson, el Rho de Spearman y la tau de Kendall, demostrando un claro apoyo a la utilización del coeficiente de Pearson aunque las observaciones no tengan distribución normal.

Sin descartar las metodologías que se plantean en estos trabajos, se propone desarrollar este importante paso en los modelos de RST incorporando enseñanzas obtenidas del *Project Management* para la selección y/o elaboración de indicadores. Como comenta Seen (2013), el punto más importante en el desarrollo de indicadores (en este caso, en la selección de variables/factores) es empezar con lo que realmente se puede hacer, sino el fracaso está asegurado. No se debe ser ambicioso pretendiendo abarcar más de lo que materialmente puede ser posible.

En este punto es menester recordar que el objeto perseguido es desarrollar un modelo que permita encontrar el escenario que pondría en riesgo al sistema financiero, pero es preciso establecer una metodología que permita hacer una selección de factores entre todos los disponibles. Para ello,

se emplearán la terminología y herramientas de la logística que propone el Sistema Andon (Vázquez, 2013), que permiten identificar alertas en el proceso productivo del sistema financiero. Como comenta Vázquez, “Las variantes para los sistemas Andon son ilimitadas y el diseño depende del tipo de proceso y cantidad de líneas o máquinas que se deseen controlar.” (Vázquez, 2013, pág. 30). Pero, como se señaló en apartados anteriores, el mayor problema en el RST es la existencia de un infinito número de variables a considerar, lo que estadísticamente se llama multiplicidad, ya que un mismo resultado final (una misma pérdida por ejemplo) se podría obtener con múltiples combinaciones de los factores y variables macroeconómicas (Licari & Suárez-Lledó, 2012). Por este motivo es necesario estimar cuál de esos posibles escenarios tiene mayor probabilidad de ocurrencia, pre-seleccionando los factores o indicadores que definirán el escenario.

Existe una metodología utilizada en la gestión de proyectos que permite seleccionar objetivos, la cual puede ser aplicada a la selección de factores para la creación de los posibles escenarios. Seen (2013) comenta que los indicadores deberían ser construidos con buen criterio, para lo cual éstos han de ser SMART (hace referencia a las propiedades de los indicadores). La palabra SMART es un acrónimo de *Specific Measurable Achievable Relevant Time-bound*, es decir, que los indicadores deben ser específicos, medibles, factibles, relevantes y delimitados en el tiempo. Esto ayudaría a seleccionar aquellos para incorporar al modelo. La selección de factores SMART, permitiría reducir drásticamente el número de factores, para posteriormente continuar con la metodología que conduzca a obtener el resultado final perseguido (Vázquez, 2013).

Para cumplir con cada uno de esos objetivos que deben cumplir todos los factores, es necesario emplear diferentes técnicas, dependiendo a cuál de ellos esté haciendo referencia.

1) *Specific*: el factor/variable capta la esencia del resultado deseado, vinculando clara y directamente el logro de un objetivo y sólo ese objetivo (Fondo para el Medio Ambiente Mundial Oficina de Evaluación, 2010, pág. 33). Este punto se analiza con el modelo final, en el apartado 3.1. Concretamente se debe ver si el signo del factor que acompañe a la variable tiene sentido para el resultado final. Por ejemplo, si es una variable que hace referencia a la tasa de desocupación del país, el signo debe ser positivo ya que a mayor desocupación, mayor riesgo de inestabilidad financiera del sistema.

2) *Measurable*: el indicador es cuantificable y verificable objetivamente (Byron-Cox, 2013). Dado que todos los factores seleccionados son numéricos, extraídos de información pública, cuya construcción es objetiva siguiendo criterios especificados por las autoridades, entonces todos ellos cumplen este objetivo.

3) *Archivable*: los datos requeridos por el indicador/factor pueden ser actualmente recolectados (Byron-Cox, 2013). Para cumplimentar este punto, es necesario analizar si todos los factores seleccionados tienen información actualizada disponible. Para considerar que la información está actualizada, y dado que las variables/indicadores contenidos en la base de datos que se han construido tienen infor-

mación mensual (o trimestral pero mensualizada), sólo se seleccionan aquellos que dispongan de dato en diciembre de 2016. Luego de la aplicación de este criterio, se reduce el número de indicadores macroeconómicos de 388 a 185. En el caso de los factores/indicadores microeconómicos, de las 211 variables (175 datos de balance más 36 datos del ECB), la lista se reduce a 126 variables. Entonces, luego de este primer paso, el total de datos *input* del modelo se reduce de 599 indicadores a 311.

4) *Relevant*: el factor/indicador provee de información importante al modelo que se desea definir (Byron-Cox, 2013). Para ello es necesario confirmar que la información que aporta cada factor no está recogida también por otro de ellos, ya que en ese caso la información de uno de los dos factores sería redundante. Para llevar a cabo este análisis, es importante conocer la dependencia entre dichas variables antes de decidir incorporarlas o no en el modelo final. A pesar del análisis presentado por Chok (2008), en el que destaca las ventajas del análisis de correlación de Pearson, se considera necesario realizar los tres análisis diferentes sobre los factores a incorporar: correlación de Pearson y dos análisis de concordancia (estimadores de la Rho de Spearman y la Tau de Kendall). Fundamenta tal elección que, como indica Chok (2008, págs. 29-30), el estudio presentado no es totalmente conclusivo, por lo que existen situaciones, como la existencia de posibles *outliers*, que no han sido contempladas en su estudio. Entonces, para evitar incorporar factores que están correlacionados en la lista final, se propone la utilización de los tres coeficientes.

El análisis se lleva a cabo en primer lugar, separando los factores que se han llamado microeconómicos (apartado 4.1) y los macroeconómicos (apartado 4.2), para confirmar la incorporación de información relativa a ambos aspectos del sistema bancario. Luego se analizará también la interacción de los dos grupos de variables. En el caso de los factores microeconómicos, de las 126 variables disponibles en este paso, la lista queda reducida a sólo 2 luego de aplicar los análisis de correlación (Pearson, Spearman y Kendall). Se trata de la X1, que hace referencia al total de préstamos no MFIs, y la P31, que hace referencia a los depósitos de Bancos Centrales en el sistema bancario español.

En el caso de los indicadores/factores macroeconómicos, luego de llevar a cabo los cálculos de la correlación de Pearson, Spearman y Kendall, y decidiendo subjetivamente qué factores seleccionar entre los correlacionados, de los 185 factores/indicadores macroeconómicos disponibles hasta este punto, se termina seleccionando sólo 23. A continuación se vuelven a realizar los cálculos pero estimando la correlación entre todos los indicadores seleccionados, tanto micro como macroeconómicos. Como resultado de este análisis, la lista final de variables seleccionadas por *Relevant* son 19.

5) *Time-bond*: el factor/indicador tiene una referencia temporal (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2013, pág. 26), es decir es posible identificar la variación de su valor a lo largo del tiempo. Todos los factores seleccionados hasta este punto cumplen tal requisito, ya que son variables que muestran variabilidad a lo largo del tiempo.

Luego de la aplicación de los criterios definidos en los párrafos anteriores, se logró reducir drásticamente el número de variables/indicadores para su análisis en el modelo final. A pesar de ello, el número sigue siendo elevado, por lo que es necesario introducir otra metodología adicional que permita reducir aún más el número de factores. Para ello se toma como base el trabajo de Alpay & Akturk Hayat (2017), quienes proponen un método objetivo para la selección de variables que permitan realizar un análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis DEA*) para evaluar la eficiencia relativa de las unidades organizacionales, haciendo uso de una función de cópula básica.

Se centrará en la obtención de los resultados para la *output-oriented* DEA, donde la programación lineal empleada busca determinar los resultados potenciales de una firma dado unos valores *inputs* determinados, si la firma opera eficientemente (Alpay & Akturk Hayat, 2017). La selección se fundamenta en considerar que los agentes que intervienen en el sistema financiero se comportan de manera eficiente, en función de los indicadores dados por el mercado, buscando optimizar sus resultados.

Para poder aplicar esta metodología de selección de variables, se debe decidir la cópula (ver apartado 3.1) de dos

variables; se emplea entonces lo que Alpay & Akturk Hayat definen como la función de dependencia local (LDF). Dado que el objetivo es analizar el comportamiento de las variables en situaciones extremas, se debe seleccionar una LDF que tenga en cuenta el comportamiento de las variables en la cola de la distribución y, aplicando un criterio conservador, se seguirá lo presentado por Hull (2006, pág. 63) quien indica que la correlación entre las variables tiende a incrementarse en condiciones extremas. Muestra que la correlación en la cola de la distribución es mayor con la distribución *t* bivalente que en una distribución normal. Por ello se aplicará la LDF de la cópula *t* de Student.

Previo a la incorporación de los resultados obtenidos con el método propuesto, se lleva a cabo una preselección experta de los factores obtenidos hasta este punto. Este paso se fundamenta en que, existe un grupo de variables que, a pesar de haber pasado los filtros previamente indicados y no estar correlacionadas con otras variables finales, no deben considerarse relevantes, por su influencia o relación subjetiva con otras incorporadas en la misma lista. Por lo cual, la lista de variables con las que se lleva a cabo este último paso de selección, se reduce a las 12 incorporadas en la **Tabla 1**.

**Tabla 1:** Variables preseleccionadas de forma experta

Número	Nombre	Descripción	Fuente	Frecuencia
1	X1	PRÉSTAMOS AL SECTOR DE COMPAÑÍAS DE SEGUROS Y FONDOS DE PENSIONES DE LA ZONA EURO.	Base de datos pública del ECB	Dato mensual
2	X2	EUROBIR A 3 MESES (MEDIA MENSUAL)	Datastream	Datos diarios, calculada media mensual
3	X3	ÍNDICE DE RENDIMIENTO TOTAL DEL IBEX 35	Datastream	Datos diarios, calculada media mensual
4	X4	MERCADOS PRIMARIOS DE VALORES. EMISIÓN NETA EN EUROS. LETRAS DEL TESORO	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
5	X5	MERCADOS PRIMARIOS DE VALORES. EMISIÓN NETA EN EUROS. RENTA FIJA PRIVADA. PAGARÉS	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
6	X6	CUENTAS FINANCIERAS TRIMESTRALES. AHORRO FINANCIERO DE LAS INSTITUCIONES FINANCIERAS. PORCENTAJE SOBRE EL PIB	Banco de España - Estadísticas	Datos trimestrales, réplica de valor en los 3 meses
7	X7	RESERVAS	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
8	X8	SERIES COMERCIO EXTERIOR DE ESPAÑA (DXE). EXPORTACIONES. DATOS PROVISIONALES DEFLACTADOS POR EL ÍNDICE DE VALOR UNITARIO. IMPORTE EN ESPAÑA. TOTAL. DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
9	X9	IPC DE ENERGÍA EN ESPAÑA	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
10	X10	BALANZA DE PAGOS.C/C.SERVICIOS.TURISMO Y VIAJES. SALDO. DATOS ACUMULADOS	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
11	X11	AAPP.ESTADO.INGRESOS LÍQUIDOS:IRPF.ACUMULADA.TASA VARIACIÓN INTERANUAL	Banco de España - Estadísticas	Dato mensual
12	X12	CRECIMIENTO DEL ÍNDICE DE PRECIOS DEL IBEX 35	Datastream	Datos diarios, calculada media mensual

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2:** Grupos de variables, separadas de acuerdo a la función de dependencia local

Grupo 1		Grupo 2	
X2	EUROBIR A 3 MESES (MEDIA MENSUAL)	X9	IPC DE ENERGÍA EN ESPAÑA
X3	ÍNDICE DE RENDIMIENTO TOTAL DEL IBEX 35	X1	PRÉSTAMOS AL SECTOR DE COMPAÑÍAS DE SEGUROS Y FONDOS DE PENSIONES DE LA ZONA EURO.
X5	MERCADOS PRIMARIOS DE VALORES. EMISIÓN NETA EN EUROS. RENTA FIJA PRIVADA. PAGARÉS	X8	SERIES COMERCIO EXTERIOR DE ESPAÑA (DXE). EXPORTACIONES. DATOS PROVISIONALES DEFLACTADOS POR EL ÍNDICE DE VALOR UNITARIO. IMPORTE EN ESPAÑA. TOTAL. DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.
X6	CUENTAS FINANCIERAS TRIMESTRALES. AHORRO FINANCIERO DE LAS INSTITUCIONES FINANCIERAS. PORCENTAJE SOBRE EL PIB	X11	AAPP. ESTADO. INGRESOS LÍQUIDOS: IRPF. ACUMULADA. TASA VARIACIÓN INTERANUAL
X7	RESERVAS	X12	CRECIMIENTO DEL ÍNDICE DE PRECIOS DEL IBEX 35
X10	BALANZA DE PAGOS. C/C. SERVICIOS. TURISMO Y VIAJES. SALDO. DATOS ACUMULADOS		

Fuente: Elaboración propia

Especial mención merece la diferenciación entre las variables X3 y X12. La variable X12 captura los cambios en los precios de las acciones de las empresas que componen el IBEX35, en cambio la variable X3 tiene en cuenta la fluctuación de dichos precios y los dividendos que esas mismas empresas pagan. Es decir, la variable X3 conlleva un supuesto de que todos los dividendos pagados por las empresas son reinvertidos en acciones del IBEX35 (Rizzo, 2017).

Llevando a cabo los pasos recomendados por Alpay & Akturk Hayat (2017, págs. 30-31), se calcula la función de dependencia local con una cópula t Student para cada binomio<sup>8</sup>, lo que implica obtener 66 posibles combinaciones. Con dicho resultado, se separa la lista de variables en dos grupos<sup>9</sup>, indicados en la **Tabla 2**.

Las variables 2 y 9 mostradas en la **Tabla 2**, son las cabeceras porque es la combinación que cumple con la condi-

ción propuesta por Alpay & Akturk Hayat (2017, pág. 31) de ser  $Max |H(x_i, x_j)|$ . Una vez seleccionadas las variables cabeceras, el resto de variables se incorporan en uno u otro grupo en función de la combinación que vuelva a cumplir la misma condición de ser la máxima entre la variables que se esté analizando y ambas cabeceras (por ejemplo, para decidir en qué grupo debo incorporar la variable 3, comparo  $|H(x_2, x_3)|$  con  $|H(x_9, x_3)|$ , dado que  $|H(x_2, x_3)| > |H(x_9, x_3)|$ , entonces se asigna al grupo cuya cabecera es la variable 2).

Finalmente, para elegir entre el grupo 1 y el grupo 2, se selecciona aquel que tiene el  $Max |H(x_i, x_j)|$ . Las variables seleccionadas son las siguientes e integrarían el modelo específico final de *stress testing* o *reverse stress testing*.

**Tabla 3:** Variables seleccionadas para incorporar al modelo final

Nombre	Descripción
X1	PRÉSTAMOS AL SECTOR DE COMPAÑÍAS DE SEGUROS Y FONDOS DE PENSIONES DE LA ZONA EURO.
X8	SERIES COMERCIO EXTERIOR DE ESPAÑA (DXE). EXPORTACIONES. DATOS PROVISIONALES DEFLACTADOS POR EL ÍNDICE DE VALOR UNITARIO. IMPORTE EN ESPAÑA. TOTAL. DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS.
X9	IPC DE ENERGÍA EN ESPAÑA
X11	AAPP. ESTADO. INGRESOS LÍQUIDOS: IRPF. ACUMULADA. TASA VARIACIÓN INTERANUAL
X12	CRECIMIENTO DEL ÍNDICE DE PRECIOS DEL IBEX 35

Fuente: Elaboración propia

<sup>8</sup> Con la salvedad de que ellos proponen el cálculo del mínimo de la función de dependencia local y del máximo, para cada binomio, y aquí se calculó el resultado global de la cópula con la metodología máxima pseudo-verosimilitud, porque previamente se han calculado las pseudo-observaciones de los datos.

<sup>9</sup> Como paso adicional, se decidió que, si alguna de las variables sobre las que hay que seleccionar el grupo de pertenencia, no cumple las condiciones para poder realizar el cálculo de la función de dependencia local, entonces es eliminada del modelo. Concretamente este problema ocurre con la variable X4 (emisión de letras del tesoro), por lo cual se quita del modelo. Esta eliminación se justifica, no sólo por cuestiones numéricas sino también porque desde el ingreso de España al Eurosistema, la emisión de letras del tesoro está fuertemente condicionada a las decisiones políticas y de estabilidad propias del conjunto de países que forman parte de la zona euro, y no sólo de la economía española. En el año 2012 España ha sufrido fuertemente los efectos de la crisis, pero la decisión de su posibilidad de acceso a deudas que permitieran solucionar los problemas estaba guiada a nivel europeo desde el *European Central Bank* (Pérez Rivarés, 2013), por lo que la incorporación de esta variable en el modelo implicaría estar incorporando el comportamiento de cuestiones que no son decisión del gobierno español, sino del Parlamento en su conjunto. El modelo final estaría influenciado por cuestiones que no son las que se pretenden incorporar en el modelo final.

#### 4.4. Análisis de la necesidad de un factor financiero

Tras la justificación de los factores seleccionados en el apartado anterior, una cuestión de obligado cuestionamiento es por qué no se incorpora en el modelo final uno que sea puramente financiero, que llevaría a pensar que de este modo se incluirá a este sector en el análisis del escenario final. Para poder comprobar la aportación que obtendría en el modelo la incorporación de un factor de este tipo, se realiza un análisis con el factor EURIBOR en los datos seleccionados y se analiza si aporta información relevante al conjunto de factores finales a través del análisis de componentes principales (Mei, 2009). Para ello, se realiza el cálculo de la importancia de cada factor en la variabilidad del conjunto de datos (los cinco factores previamente seleccionados y este nuevo factor)<sup>10</sup>. Se comprueba la porción de la varianza que explican los datos antes de la incorporación del nuevo factor y cuánto aumentó con su incorporación al modelo<sup>11</sup>. El resultado obtenido es el que se presenta en la **Tabla 4**.

**Tabla 4:** Resultado del análisis de componentes principales, comprobación de la necesidad de incorporar una variable financiera (EURIBOR)

	Importancia de cada componentes:					
	X1	X8	X9	X11	X12	EURIBOR
Desviación estándar	0.3670	0.3138	0.2914	0.2827	0.2542	0.1862
Proporción de la varianza	0.2709	0.1980	0.1708	0.1607	0.1299	0.0698
Proporción acumulada	0.2709	0.4689	0.6396	0.8003	0.9303	1.0000

Fuente: *Elaboración propia*

Es decir, la nueva variable sólo explicaría el 7% de la variabilidad de los datos, ya que el 93% estaría explicado por las variables previamente seleccionadas, según se detalla en el apartado 4.3. Incorporar esta variable, no aportaría información relevante al modelo, en cambio sí incrementaría los problemas de cálculo, como se señala en el apartado 3 haciendo referencia a los problemas de cálculo del *reverse stress testing* que explican Grundke y Pliszka (2013). Adicionalmente, es preciso recordar que esta variable está altamente relacionada con la variable X9 (es decir, el grado de dependencia entre ambas variables es muy alto), según se dijo en la selección de factores con la aplicación de cópulas para medir las dependencias, razón por la cual ha sido descartada del conjunto de factores seleccionados.

#### Conclusión

En este trabajo se argumenta que el riesgo de crédito es el de mayor importancia desde el punto de vista de riesgo

<sup>10</sup> Previamente se calculó las pseudo-observaciones a través de una fórmula llamada pobs disponible en el software estadístico R, tras lo cual se obtienen las observaciones pero transformadas al intervalo (0,1). Esto permite mantener la objetividad al medir la variabilidad de cada una de las componentes. Otra opción puede ser estandarizar los valores, pero se estarían forzando todas las componentes a tener un comportamiento ajustado a una distribución normal.

<sup>11</sup> Se pueden consultar ejemplos de interpretación de resultados en Saber (1984, págs. 188-197).

asumido por parte de las entidades bancarias españolas. Teniendo en cuenta ello, se postulan cinco factores como los más relevantes para la construcción del modelo de *stress testing*: (i) Los préstamos *contraparte de la zona del euro* (Sector de compañías de seguros y fondos de pensiones), (ii) las series de comercio exterior de España (DXE), (iii) IPC de energía en España, (iv) AAPP, estado ingresos líquidos y (v) el índice de precios de la bolsa.

Para alcanzar dicha selección, en el trabajo se describen los desarrollos y requisitos actuales asociados a los modelos de *stress test* aplicados sobre riesgo de crédito. En este tipo de modelos es necesario previamente definir un escenario, que será el principal componente a la hora de obtener los resultados. Ello requiere elegir los diferentes factores que interactuarán, para ser incorporados en el modelo. Una vez seleccionados es necesario establecer los *shocks* a aplicar sobre ellos, para establecer los escenarios que se incorporarán en el modelo de *stress testing*. Se pueden diseñar tantos escenarios como se quiere, a partir de los mismos factores aplicándoles diferentes *shocks*, o con la previa selección de diferentes factores. Incluso, estos mismos se pueden preseleccionar para ser incorporados en un modelo de *reverse stress testing*, pero sin la previa especificación de los *shocks* a incorporar a cada uno de ellos, ya que el modelo sería el encargado de buscar y definir los *shocks* que pondrán en alerta a los reguladores.

Ello demuestra que la preselección de los factores es clave en la identificación de alertas. Por esta razón se propone una metodología para llevarla a cabo. Para ello,

se parte de un gran número de factores (de disponibilidad pública), que hacen referencia a datos propios del sistema financiero (focalizando las variables a las que puedan afectar al riesgo de crédito del sistema bancario), y a cuestiones macroeconómicas, lo que permitirá tener en cuenta la vinculación del sistema bancario con otras áreas de la economía que puedan interactuar para transferirse riesgos entre sí.

Se han llevado a cabo diferentes tipos de análisis, con el objeto de seleccionar las variables o factores más relevantes. Estas metodologías vinculan cálculos estadísticos (entre ellas, correlaciones, dependencias) con criterio experto resultante del conocimiento previo del sistema bancario español, para obtener factores o variables que cumplan con el criterio SMART, que es el objetivo en este estudio. Esto ha permitido acotar el número a 5 variables o factores, que son representativos del riesgo de crédito del sistema financiero español. Para fortalecer los pasos propuestos para la preselección de variables, se incorpora un análisis adicional, con el objeto de comprobar qué aportación generaría a los datos previamente seleccionados incluir una variable puramente financiera, comprobando que la previa selección realizada ya está recolectando la mayor parte de la variabilidad correspondiente a esta nueva posible componente, por lo que su incorporación a la selección final no sería necesaria.

## Referencias

- Alpay, O., & Akturk Hayat, E. (2017). Copula approach to select input/output variables for DEA. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 7(1), 28-34. doi:<http://dx.doi.org/10.11121/ijocta.01.2017.00334>
- Asociación Española de Banca. (6 de Junio de 2017). *AEB Asociación Española de Banca*. Obtenido de <http://www.aebanca.es/es/index.htm>
- Banco de España. (26 de noviembre de 2008). CIRCULAR 6/2008, de 26 de noviembre, del Banco de España, a entidades de crédito, de modificación de la Circular 4/2004, de 22 de diciembre, sobre normas de información financiera pública y reservada, y modelos de estados financieros. España.
- Banco de España. (Noviembre de 2013). Desarrollo de una herramienta para realizar análisis prospectivos de forma regular de los bancos españoles. Metodología y primeros resultados agregados. *Informe de Estabilidad Financiera*, 43-53. Madrid: Banco de España. Recuperado el 2016 de mayo de 12, de <http://www.bde.es/f/webbde/Secciones/Publicaciones/InformesBoletines-Revistas/InformesEstabilidadFinanciera/13/IEF-Noviembre2013.pdf>
- Banco de España. (Mayo de 2013). Indicador de Riesgo Sistemático. *Informe de Estabilidad Financiera*, 17-19. Madrid. Recuperado el 8 de mayo de 2017, de <http://www.bde.es/f/webbde/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/InformesEstabilidadFinanciera/13/IEF-Mayo2013.pdf>
- Banco de España. (Noviembre de 2016a). *Informe de Estabilidad Financiera*. Madrid. Recuperado el 22 de enero de 2017, de <http://www.bde.es/f/webbde/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/InformesEstabilidadFinanciera/16/IEFNoviembre2016.pdf>
- Banco de España. (Mayo de 2017a). Riesgos Bancarios, Rentabilidad y Solvencia. *Informe de Estabilidad Financiera*, 27-60. Madrid. Recuperado el 4 de mayo de 2017, de <http://www.bde.es/f/webbde/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/InformesEstabilidadFinanciera/17/ficheros/IEFMayo2017.pdf>
- Banco de España. (6 de mayo de 2017b). *Banco de España - Normativa*. Obtenido de <http://www.bde.es/bde/es/secciones/normativas/>
- Bernstein, E. M. (Mayo de 1984). Reflections on Bretton Woods. *The International Monetary System: Forty Years After Bretton Woods*, 15-20.
- BIS. (Junio de 2004). International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards. A revised framework. Bank of International Settlements. Basel Committee on Banking Supervision. Recuperado el 27 de abril de 2016, de <http://www.bis.org/publ/bcbs107.pdf>
- BIS. (Enero de 2009). Principles of sound stress testing practices and supervision. Bank of International Settlements. Basel Committee on Banking Supervision. Recuperado el 29 de marzo de 2017, de <http://www.bis.org/publ/bcbs147.pdf>
- Breuer, T., Jandacka, M., Mencía, J., & Summer, M. (2012). A systemic approach to multiperiod stress testing of portfolio credit risk. *Journal of Banking & Finance*, 36, 332-340.
- Breuer, T., Jandacka, M., Rheinberger, K., & Summer, M. (2009). How to Find Plausible, Severe, and Useful. *International Journal of Central Banking*, 5, 205-224. Recuperado el 19 de abril de 2016, de <http://www.ijcb.org/journal/ijcb09q3a7.pdf>
- Byron-Cox, R. (Marzo de 2013). The place of the indicators in the aligned NAP. Action Programme Alignment & Capacity Building Officer UNCCD Secretariat. Recuperado el 8 de junio de 2017, de <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/actionProgrammes/The%20place%20of%20indicators%20in%20the%20NAP%20alignment%20process.pdf>
- Caouette, J., Altman, E., Narayanan, P., & Nimmo, R. (2008). *Managing Credit Risk: The Great Challenge for Global Financial Markets* (2da edición ed.). Nueva York: John Wiley & Sons.
- Chok, N. S. (26 de Mayo de 2008). Pearson's versus Spearman's and Kendall's correlation coefficients for continuous data. Petesburgo: University of Pittsburg, Faculty of the Graduate School of Public Health. Recuperado el 7 de marzo de 2017, de [http://d-scholarship.pitt.edu/8056/1/Chokns\\_etd2010.pdf](http://d-scholarship.pitt.edu/8056/1/Chokns_etd2010.pdf)
- Counterparty Risk Management Policy Group. (2008). Containing systemic risk: the road to reform. The report of the CRMPG III. Recuperado el 9 de marzo de 2015, de <http://www.crmgroup.org/docs/CRMPG-III.pdf>
- Cristófoli, M. (diciembre de 2017). Regulación de la Estabilidad Financiera Española. *Revista de Investigación en Modelos Financieros*, 2, 55-79. doi:ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861
- Dees, S., Henry, J., & Martin, R. (2017). *STAMPÉ: Stress-Test Analytics for Macroprudential Purposes in the euro area*. European Central Bank. doi:10.2866/86845
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (noviembre de 2013). Adaptation made to measure. A guidebook to the design and results-based monitoring of climate change adaptation projects. (Segunda). Eschborn, Alemania: Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), Division: Climate policy and climate financing. Recuperado el 9 de junio de 2017, de [https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/me/me-guides-manuals-reports/GIZ-2013\\_Adaptation\\_made\\_to\\_measure\\_second\\_edition.pdf](https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/me/me-guides-manuals-reports/GIZ-2013_Adaptation_made_to_measure_second_edition.pdf)
- Dodd-Frank. (10 de Febrero de 2017). 2017 Supervisory Scenarios for Annual Stress Tests Required under the Dodd-Frank Act Stress Testing Rules and the Capital Plan Rule. Fed. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de <https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/files/bcreg20170203a5.pdf>
- Estévez, L., & Cambón, M. I. (2015). A Spanish Financial Market Stress Index (FMSI). *Documento de Trabajo*, 60. Madrid, España: CNMV.
- European Banking Authority. (2014). Methodological Note EU-Wide Stress Test. Version 2.0. EBA.
- European Banking Authority. (2015). Consultation Paper, Draft Guidelines on stress testing and supervisory stress testing. EBA.
- European Banking Authority. (2016a). EU-Wide Stress Test. Methodological Note. EBA.
- European Banking Authority. (2016b). Risk Assessment of the European Banking System. EBA.

- European Banking Authority. (2016d). Final report. Guidelines on the application of the definition of default under Article 178 of Regulation (EU) No 575/2013. EBA.
- European Banking Authority. (Q4 de 2016e). Risk Dashboard. *Data as of Q4 2016*. Londres, Reino Unido: EBA.
- European Banking Authority. (s.f.). *Regulation and Policy*. Recuperado el 13 de julio de 2017, de <https://www.eba.europa.eu/regulation-and-policy/market-risk>
- European Central Bank. (Octubre de 2013). A macro stress testing framework for assessing systemic risks in the banking sector. *Occasional Paper Series*, 152. (H. Jérôme, & C. Kok, Edits.) ECB.
- European Central Bank. (2014). Comprehensive assessment stress test manual. ECB.
- European Central Bank. (2017). STAMPÉ: Stress-Test Analytics for Macroprudential Purposes in the euro area. ECB.
- European central Bank. (25 de mayo de 2017b). *Aggregated balance sheet of euro area monetary financial institutions, excluding the Eurosystem*. Obtenido de [http://www.ecb.europa.eu/stats/ecb\\_statistics/escb/html/table.en.html?id=JDF\\_BSI\\_MFI\\_BALANCE\\_SHEET](http://www.ecb.europa.eu/stats/ecb_statistics/escb/html/table.en.html?id=JDF_BSI_MFI_BALANCE_SHEET)
- Fondo para el Medio Ambiente Mundial Oficina de Evaluación. (2010). *Política de Seguimiento y Evaluación del FMAM 2010*. Washington: Oficina de Evaluación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Recuperado el 8 de junio de 2017, de <http://www.gefio.org/sites/default/files/ieo/evaluations/gef-me-policy-2010-spa.pdf>
- Grundke, P., & Pliszka, K. (2013). A macroeconomic reverse stress test. *Discussion paper*. Deutsche Bundesbank.
- Hamby, D. (1994). A review of Techniques for Parameter Sensitivity Analysis of Environmental Models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32, 135-154.
- Hollo, D., Kremer, M., & Lo Duca, M. (2012). CISS - A Composite Indicator of Systemic Stress in the Financial System. *Working Paper*, 1426. European Central Bank.
- Hull, J. (2006). *Risk Management and Financial Institutions*. Prentice Hall.
- International Actuarial Association. (2013). Stress Testing and Scenario Analysis. *Insurance Regulation Committee*. IAA.
- Jiménez, M. (5 de Noviembre de 2015). Solo seis bancos españoles tendrán test de estrés europeos en 2016. *El País: Economía*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de [http://economia.elpais.com/economia/2015/11/05/actualidad/1446716716\\_995450.html](http://economia.elpais.com/economia/2015/11/05/actualidad/1446716716_995450.html)
- Jorion, P. (2006). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk* (Tercera ed.). Nueva York: McGraw-Hill Companies.
- Licari, J. M., & Suárez-Lledó, J. (Octubre de 2012). Reverse Stress Testing from a Macroeconomic viewpoint: Quantitative Challenges & Solutions for its Practical Implementation. *Economic & Consumer Credit Analytics*. Recuperado el 17 de mayo de 2016, de <https://www.economy.com/home/products/samples/whitepapers/2012-10-10-Reverse-Stress-Testing-From-Macroeconomic-View-Point.pdf>
- Lo, A. W. (marzo de 2012). Reading about the Financial Crisis: A TwentyOne-Book Review. *Journal of Economic Literature*, 50(1), 151-178. doi:10.1257/jel.50.1.151
- Luis Guido Carli. (2016). *European banking supervision, the role of stress test*. Italia: Simone Manduchi.
- Lynch, D. (2013). The evolution of Stress Testing Counterparty Exposures. En A. Siddique, & I. Hasan (Edits.), *Stress Testing* (págs. 37-55). Londres, Gran Bretaña: Risk Books.
- Mei, M. (21 de Agosto de 2009). *Principal Component Analysis*. Recuperado el 11 de octubre de 2017, de The University of Chicago - Departament of Mathematics: <http://www.math.uchicago.edu/~may/VIGRE/VIGRE2009/REUPapers/Mei.pdf>
- Nelsen, R. (2006). *An Introduction to Copulas*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Parlamento Europeo y Consejo. (2013a). Directiva 2013/36/UE. *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- Parlamento Europeo y Consejo. (26 de Junio de 2013b). Reglamento 575/2013/UE. *Diario Oficial de la Unión Europea*. Unión Europea.
- Pérez Montes, C., & Trucharte Artigas, C. (2013). Top-down stress test as macro-prudential tool: methodology and practical application. *Revista de Estabilidad Financiera*, 24, 89-107.
- Pérez Rivarés, J. A. (2013). Instrumentos de Coordinación de la Unión Europea en materia de rescate y resolución de entidades financieras. *Revista de derecho bancario y bursátil*(131), 97-120. Recuperado el 19 de septiembre de 2017, de Uria Menéndez: [http://www.uria.com/documentos/publicaciones/3900/documento/5222010\\_1.pdf?id=4776](http://www.uria.com/documentos/publicaciones/3900/documento/5222010_1.pdf?id=4776)
- Pérez, D., & Trucharte, C. (2011). Los ejercicios de estrés test: experiencia reciente y reflexiones sobre su futuro. *Revista de Estabilidad Financiera*, 21, 63-82.
- Pouvelle, C. (Abril de 2012). *Bank credit, asset prices and financial stability: Evidence from French banks*. International Monetary Fund, European Department. Washington: International Monetary Fund. Obtenido de <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp12103.pdf>
- Rizzo, E. (2017). *Price Index and Total Return Index*. Rizzo, Farrugia & Co., Stockbrokers. Malta: Rizzo Farrugia. Obtenido de <http://rizzofarrugia.com/financial-articles/weekly/price-index-vs-total-return-index/>
- Saber, G. (1984). *Multivariate observations*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., & Ratto, M. (2004). *Sensitivity Analysis in Practice. A Guide to Assessing Scientific Models*. Nueva Delhi, India: John Wiley & Sons, Ltd.
- Seen, D. (2013). Using indicators to measure progress and performance. Sustainable sanitation and water management. [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado el 19 de abril de 2016, de <http://www.sswm.info/sites/default/files/ppts/SENN%202013%20Using%20Indicators%20to%20Measure%20Progress%20and%20Performance-131218.ppt>
- Skoglund, J., & Chen, W. (2009). Risk contributions, information and reverse stress testing. *The Journal of Risk Model Validation*, 3(2), 61-77. doi:10.21314/JRMV.2009.041
- Vázquez, J. M. (13 de Septiembre de 2013). Indicadores de evaluación de la implementación del Lean Manufacturing en la industria. (Tesis de Maestría). Valladolid, España: Universidad de Valladolid. Recuperado el 17 de mayo de 2016, de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6470/1/TFM-P-107.pdf>
- Yuen, K. (2013). Determining the Severity of Macroeconomic Stress Scenarios. En A. Siddique, & I. Hasan (Edits.), *Stress Testing* (págs. 193-224). Londres, Gran Bretaña: Risk Books.