

Un primer análisis de los riesgos de transición energética con el marco de pruebas de resistencia FLESB del Banco de España

Alejandro Ferrer, Javier García Villasur, Nadia Lavín, Irene Pablos Nuevo
y Carlos Pérez Montes

BANCO DE ESPAÑA

Los autores pertenecen al Departamento de Estabilidad Financiera y Política Macroprudencial del Banco de España y agradecen los comentarios recibidos de Ángel Estrada, Samuel Hurtado y un evaluador anónimo. Dirección de correo electrónico para comentarios: [nadia\(dot\)lavin\(at\)bde\(dot\)es](mailto:nadia(dot)lavin(at)bde(dot)es).

Este artículo es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente la opinión del Banco de España o del Eurosistema.

Resumen

Este artículo contiene el primer análisis del Banco de España sobre el impacto en el sector bancario de los riesgos de transición energética, utilizando para ello su marco interno de pruebas de resistencia *Forward Looking Exercise on Spanish Banks* (FLESB). Se consideran distintos escenarios macroeconómicos generados por el aumento de precios y la ampliación de cobertura del sistema de comercio de derechos de emisión, con un horizonte temporal de tres años. En este ejercicio se ha modelizado la probabilidad de impago de las carteras de crédito a empresas de forma muy granular por tamaño de empresa y sector, para capturar el impacto heterogéneo sobre ellos de estos riesgos de transición. El resto de los factores de riesgo y componentes del balance y de la cuenta de resultados se proyectan también de forma coherente con los escenarios macroeconómicos para obtener estimaciones de rentabilidad y de solvencia de las entidades. En conjunto, el impacto de los escenarios sobre la calidad crediticia de los préstamos a empresas es moderado, pero aquellos sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero se ven significativamente más afectados. No obstante, las exposiciones a estos sectores más afectados constituyen un porcentaje relativamente limitado del total de los préstamos del sector bancario español, por lo que el impacto final en la rentabilidad es también contenido. Si bien el análisis realizado supone una primera aproximación parcial a la medición del riesgo de transición, al concentrarse en el corto plazo, contribuye a reducir la incertidumbre sobre los costes del proceso de transición energética.

Palabras clave: riesgo climático, riesgo de transición, pruebas de resistencia, probabilidad de impago, rentabilidad, solvencia.

1 Introducción

Los riesgos físicos derivados del cambio climático, asociados al deterioro medioambiental y al aumento de la frecuencia de eventos extremos (como sequías prolongadas, incendios e inundaciones), suponen una nueva fuente de riesgo para el sector financiero. Frente a estos riesgos, las políticas fiscales y ambientales desempeñan un papel clave para reducir las emisiones de dióxido de carbono e impulsar la transición a un modelo económico más sostenible, en el que los riesgos físicos del cambio climático se sitúen en unos niveles reducidos. Sin embargo, estas políticas de transición económica implican una serie de costes para ciertos sectores, lo que puede frenar la actividad económica en el horizonte más inmediato, generando también riesgos para el sector financiero. Ambos tipos de riesgos pueden

materializarse simultáneamente, ya que las medidas para mitigarlos pueden aplicarse de forma tardía o insuficiente, cuando el cambio climático ya se haya producido al menos parcialmente.

En este contexto, autoridades regulatorias y supervisoras han empezado a desarrollar análisis y herramientas para modelizar y evaluar los impactos del cambio climático en la estabilidad financiera. Dada la naturaleza incierta de los riesgos asociados al cambio climático, los análisis de sensibilidad y las pruebas de resistencia (metodologías *forward-looking*) proporcionan una buena base metodológica para su estudio prospectivo. Esto está motivando el desarrollo y la adaptación de dichas metodologías *forward-looking* a las particularidades de estos riesgos.

Los riesgos más relevantes para el sector financiero derivados del cambio climático se localizan de forma general en las exposiciones crediticias y de mercado frente a otros sectores, incluyendo aquellos que están expuestos a eventos climáticos extremos o a los costes de la transición a una economía más sostenible. Por tanto, es necesario construir escenarios macrofinancieros de estrés que capturen la heterogeneidad de los riesgos físicos y de transición específicos de cada sector. Por otro lado, también es necesario adaptar las pruebas de resistencia para analizar con mayor granularidad las exposiciones sectoriales y sus riesgos asociados en función de estos escenarios con impactos heterogéneos por sectores.

En este sentido, en el Banco de España, como primer paso, se ha desarrollado un marco para analizar el impacto en el sector bancario de escenarios de riesgo asociados a las primeras fases de la implementación de políticas de transición en España. En particular, se ha adaptado el marco ya existente de pruebas de resistencia *top-down Forward Looking Exercise on Spanish Banks* (FLESB)¹ para este propósito.

Los escenarios macrofinancieros utilizados para este ejercicio han sido diseñados internamente por el Banco de España y están basados en el aumento del precio de los derechos de emisión y en distintas ampliaciones de la cobertura del sistema de comercio de estos (ETS, por sus siglas en inglés) para una vasta desagregación de más de medio centenar de sectores. Estos cambios de la normativa ambiental se reflejan en distintas perturbaciones en un horizonte temporal de estudio de tres años sobre las sendas de crecimiento del valor añadido bruto (VAB) real para dicha desagregación sectorial.

Con el objetivo de modelizar distintos parámetros de riesgo relevantes para el ejercicio, se ha utilizado la base de datos de la Central de Información de Riesgos del Banco de España (CIRBE). Se obtienen así datos muy granulares de las

¹ Los resultados del FLESB se publican periódicamente en el *Informe de Estabilidad Financiera* del Banco de España.

exposiciones crediticias a sociedades no financieras y a empresarios individuales, incluyendo información sobre su situación de pago y sector de actividad económica del deudor, entre otras características. Una ventaja adicional de esta base de datos es su gran extensión histórica, utilizada en esta aplicación para formar series de datos desde el año 2000.

La probabilidad de impago² (PD, por sus siglas en inglés) de las exposiciones a actividades empresariales de los bancos se estiman con la base de datos CIRBE de forma separada para cada sector y tamaño de empresa (grandes empresas, pymes³ y empresarios individuales). Estas probabilidades se estresan teniendo en cuenta las perturbaciones sectoriales al crecimiento del VAB de los escenarios de transición, así como los deterioros asociados a estos de la situación financiera (rentabilidad, apalancamiento, etc.) de cada sector de actividad. El resto de los parámetros y de las fuentes de ingresos y pérdidas de las entidades bancarias se estresan también con el marco FLESB en función del impacto de los escenarios de transición en el cuadro agregado macroeconómico para el conjunto de la economía.

Los resultados obtenidos apuntan a un deterioro contenido de la calidad crediticia en términos de la PD, pero con notable heterogeneidad según su sector de actividad. Así, en el escenario más severo, en un horizonte de tres años y ante la implementación de las políticas ambientales contra las emisiones, la PD media en ese período puede llegar a aumentar hasta 0,8 puntos porcentuales (pp) frente al escenario base en el sector más afectado (coquerías y refino de petróleo). El impacto en la rentabilidad es también moderado y difiere según el peso relativo del negocio en España, la jurisdicción en la que se estudia la introducción de la política ambiental y su composición sectorial. La rentabilidad acumulada sobre activos ponderados por riesgo (APR) podría reducirse entre 0,19 pp y 0,41 pp en el horizonte de estudio. Por lo tanto, los resultados sugieren que el sector bancario sería capaz de absorber los costes derivados del inicio de las políticas de transición climática, aunque algunas entidades soportarían un mayor impacto en su rentabilidad. No se perciben deterioros materiales de la solvencia del sector bancario como resultado de la introducción de la política ambiental considerada.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: la sección 2 examina los objetivos y el contexto del ejercicio; la sección 3 muestra los escenarios sectoriales de transición a corto plazo utilizados; la sección 4 detalla el planteamiento metodológico desarrollado para adecuar la PD a un ejercicio sobre riesgo climático; la sección 5 expone los resultados obtenidos en términos de PD y de rentabilidad; y

2 A lo largo de este documento, la PD hace referencia a la probabilidad de entrada a 12 meses de un crédito normal en una calidad de crédito dudosa, es decir, la probabilidad de migrar del estado de solvencia S1 al estado de solvencia S3 en este plazo.

3 La distinción entre grandes empresas y pymes se realiza de forma coherente con la Recomendación de la Comisión sobre la definición de microempresas, pequeñas y medianas empresas [Comisión Europea (2003)]. Por tanto, las grandes empresas son aquellas que ocupan a más de 250 personas y cuyo volumen de negocio anual excede de 50 millones de euros, o cuyo balance general anual excede de 43 millones de euros.

la sección 6 presenta las principales conclusiones. El documento incluye un anejo con información metodológica complementaria.

2 Objetivos y contexto del ejercicio

Este artículo analiza la materialización de riesgos derivados de la transición a una economía más sostenible en un horizonte limitado de tres años, sin examinar la posible materialización de riesgos físicos ni horizontes a más largo plazo. La medición del impacto macroeconómico de los riesgos físicos es especialmente compleja, al requerir modelizar explícitamente la relación entre condiciones económicas y medioambientales⁴, y materializarse en horizontes temporales amplios. La investigación futura del Banco de España desarrollará las fuentes de datos y los modelos macroeconómicos necesarios para examinar este tipo de escenarios. No obstante, este primer ejercicio de examen de los costes de transición, más asequible con las técnicas disponibles, permite actualmente medir y evaluar los costes de esas políticas tempranas contra el cambio climático. Si estos son moderados, las políticas de transición son más asumibles, a pesar de que persistan incertidumbres a largo plazo.

Otras iniciativas para la cuantificación del riesgo de cambio climático mediante metodologías *forward-looking* incluyen los trabajos de la Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS), como la guía para supervisores⁵, la guía para el análisis de escenarios de cambio climático para los bancos centrales⁶, los propios escenarios de riesgos de la NGFS y otros documentos de apoyo⁷ publicados entre mayo de 2020 y julio de 2021. A nivel europeo, diversos grupos de trabajo han abordado los avances metodológicos y las particularidades de estos modelos, que se han plasmado en los documentos *Climate-related risk and Financial Stability*⁸, del Banco Central Europeo (BCE) y de la Junta Europea de Riesgo Sistémico (julio de 2021), y *Positively Green. Climate Change Risks and Financial Stability*⁹, de la Junta Europea de Riesgo Sistémico (junio de 2020).

En cuanto a las primeras aplicaciones prácticas de las metodologías *forward-looking* por parte de los supervisores y de los reguladores nacionales, destacan los trabajos para cuantificar el impacto del cambio climático en la estabilidad financiera de Francia¹⁰ y de los Países Bajos¹¹. Estos últimos ejercicios incluyen también la

4 Véase el recuadro 3.2 del *Informe de Estabilidad Financiera* de otoño [Banco de España (2021)] para un estudio de la cuantificación del efecto de desastres medioambientales sobre la riqueza inmobiliaria a nivel regional.

5 Véase Network for Greening the Financial System (2020a).

6 Véase Network for Greening the Financial System (2020b).

7 Véanse Network for Greening the Financial System (2021 y 2020c).

8 Véase Banco Central Europeo y Junta Europea de Riesgo Sistémico (2021).

9 Véase Junta Europea de Riesgo Sistémico (2020).

10 Allen *et al.* (2020) y Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (2021).

11 Vermeulen *et al.* (2018 y 2019).

estimación del impacto para las aseguradoras y los fondos de pensiones. El Banco de Inglaterra ha difundido las bases de su ejercicio de riesgo climático¹², cuyos resultados serán publicados en 2022. Baudino y Svoronos (2021) ofrecen una comparativa de las metodologías utilizadas, de los objetivos cubiertos y de los resultados ya disponibles. Otras muchas autoridades nacionales están llevando a cabo pruebas de resistencia al riesgo de cambio climático, para sus entidades bancarias o teniendo en cuenta el conjunto del sistema financiero [véase Banco Central Europeo y Junta Europea de Riesgo Sistémico (2021)]. Por su parte, el BCE ha desarrollado su propio marco de análisis *top-down* (*Economy-wide climate stress test*¹³), con el objetivo de evaluar la exposición de los bancos del área del euro ante riesgos climáticos.

Este ejercicio del BCE es diferente del que se presenta en este documento en cuanto a la muestra de entidades, metodología, clase de riesgos climáticos considerados y horizonte temporal. El trabajo del BCE destaca por la amplitud en la sección cruzada a nivel europeo, ya que abarca aproximadamente 4 millones de empresas y 2.000 bancos, y extiende el análisis de los riesgos de transición para incorporar también el impacto de cambios extremos en el clima (riesgos físicos) en un período de 30 años. Los resultados del trabajo del BCE muestran que, ante la ausencia de medidas, los costes derivados de fenómenos meteorológicos extremos aumentan sustancialmente, incrementando la probabilidad de impago de las empresas. No obstante, los beneficios a largo plazo de la implementación de medidas tempranas que impulsen la transición a una economía libre de carbono compensarían los costes a corto plazo de aquellas. El análisis preliminar del impacto de los riesgos físicos sobre la calidad del crédito en España también apunta en la misma dirección¹⁴.

Las bases metodológicas para la cuantificación del riesgo de cambio climático y la realización de los primeros ejercicios por las autoridades constituyen una referencia para las entidades bancarias. En este sentido, los supervisores y las autoridades también han publicado guías y planes de acción, en los que se alienta a las entidades a ser proactivas y a tener en cuenta los riesgos de cambio climático en sus estrategias de negocio y procesos de gestión del riesgo¹⁵.

12 Véase Bank of England (2021).

13 Véanse Banco Central Europeo (2020) y Alogoskoufis *et al.* (2021).

14 Véase el **recuadro 3.1** del *Informe de Estabilidad Financiera* de otoño de 2021, donde se realiza un análisis simplificado del impacto a largo plazo en la PD de los riesgos físicos.

15 En este sentido, la Autoridad Bancaria Europea publicó en diciembre 2019 su plan de acción sobre finanzas sostenibles [Autoridad Bancaria Europea (2019)]. Por su parte, el BCE publicó en noviembre de 2020 su guía sobre riesgos de cambio climático y medioambientales para los bancos [Banco Central Europeo (2020)]. En esta línea, el Banco de España publicó en octubre de 2020 el documento de expectativas supervisoras sobre los riesgos derivados del cambio climático y del deterioro medioambiental [Banco de España (2020)]. Al igual que en la guía del BCE, se reconocen los riesgos climáticos y medioambientales como fuentes de riesgo financiero y se proporcionan orientaciones para las entidades menos significativas sobre cómo deben incorporar y tratar las entidades los riesgos climáticos y medioambientales, incluyendo la elaboración de pruebas de resistencia.

3 Escenarios

Los escenarios de este ejercicio han sido elaborados internamente por el Banco de España utilizando el modelo *Carbon Tax Sectorial* (CATS), de acuerdo con la metodología publicada por Aguilar, González y Hurtado (2021). El modelo tiene una estructura sectorial muy detallada y está diseñado para recoger el impacto de riesgos de transición en horizontes de entre dos y cinco años. Se trata un modelo de equilibrio general que permite simular el impacto de perturbaciones en la economía española, considerando con especial relevancia las asimetrías sectoriales en función de la intensidad en el uso de distintos tipos de energía. El modelo tiene en cuenta las interrelaciones resumidas por las tablas *input-output* de la economía española y replica sus principales características en términos de estructura productiva, intensidad energética, emisiones por tipo de tecnología, etc.¹⁶ La aplicación del modelo permite la proyección de diferentes sendas de crecimiento de VAB para 51 sectores no energéticos y para dos sectores de producción de energía: «combustibles» y «electricidad»¹⁷, basándose en sus riesgos de transición específicos, así como otras variables macroeconómicas de interés para el ejercicio de pruebas de resistencia.

El punto de partida para el diseño de los escenarios de este ejercicio es un escenario base, que asume crecimientos cercanos a los tendenciales de la economía española, más similares a los registrados antes de la crisis del COVID-19, considerando que estas medidas van a ser implementadas en un entorno económico normalizado. Sobre este escenario base, se estiman los efectos de distintas perturbaciones en función de la implementación de medidas de transición hacia una economía con bajas emisiones de dióxido de carbono, que dan lugar a los siguientes escenarios:

- i) Escenario de encarecimiento de las emisiones: supone aumentar el precio de la tonelada de CO₂ equivalente desde 25 euros (el promedio de 2020) hasta 100 euros (el límite regulatorio actual, dado que es la cuantía que se ha de pagar en caso de no disponer de derechos de emisión suficientes). Este aumento es comparable en términos relativos con otros observados anteriormente (la media anual pasó de 6 a 25 euros por

16 Para obtener las elasticidades de sustitución entre los distintos tipos de bienes, se ha utilizado una calibración mixta en la que se fija a 0,9 la elasticidad de sustitución entre bienes no energéticos siguiendo la literatura y el modelo de Devulder y Lisack (2020), y se calibra únicamente el valor de las elasticidades de sustitución entre bienes energéticos y no energéticos, o entre distintos bienes energéticos.

17 Los dos sectores energéticos difieren en cuanto a la cantidad de derechos de emisión asociados a cada uno, y también en la forma en la que se relacionan las especificaciones simplificadas del modelo con las estructuras más complejas del mundo real. En el caso de los combustibles, su producción no genera una cantidad elevada de emisiones, pero su uso sí: son los agentes que emplean los combustibles los que tienen que adquirir los derechos de emisión asociados, mientras que el productor de combustibles recibe un precio que no incluye la parte correspondiente a esos derechos. La electricidad, en cambio, genera emisiones al producirse, pero no necesariamente al utilizarse, de manera que los usuarios de electricidad no necesitan adquirir derechos de emisión para emplearla: pagan un precio a los productores de electricidad, que son los encargados de proveerse de los derechos de emisión necesarios para poder producir esa electricidad.

tonelada entre 2017 y 2019, y tras mantenerse en 25 euros en promedio en 2020, ha aumentado ya en los últimos meses, hasta superar los 50 euros). Esta perturbación provocaría en tres años una reducción total de emisiones similar a la del escenario de transición ordenada elaborado por la NGFS, que se acercaría para la economía española al 10 % en este horizonte.

- ii) Escenario de ampliación de la cobertura del ETS a todos los sectores empresariales: supone que todas las emisiones pasarían a estar gravadas, independientemente del sector que las produzca. Este escenario genera una reducción menor de las emisiones, pero un impacto sectorial muy diferente: se verían más afectados los sectores que emiten mayor volumen pero que están actualmente exentos del sistema de derechos de emisión.
- iii) Escenario de combinación de ambas perturbaciones: genera un escenario de estrés mucho mayor, dado que no es solo la suma de los dos anteriores, sino que equivale primero a subir el precio de las emisiones y después a ampliar la cobertura al resto de los sectores. Además, este segundo paso no se realiza al precio original de 25 euros, sino al nuevo de 100 euros por tonelada. Este escenario consigue una reducción de las emisiones, en el horizonte de tres años, algo mayor que la del escenario *Net Zero 2050* de la NGFS.
- iv) Escenario de combinación de ambas perturbaciones, incluyendo además la ampliación de la cobertura del ETS también a los hogares: se combina el escenario iii) con la aplicación del ETS a los hogares por el consumo de combustibles que realizan de manera directa. Esto genera una reducción algo mayor de emisiones que en el escenario anterior (en el que los hogares no estaban gravados), y sobre todo un mayor coste en términos de PIB, dado que la perturbación genera un mayor efecto renta.

Otras particularidades técnicas que se han tenido en cuenta en el modelo CATS para el diseño de estos escenarios se detallarán en un documento ocasional de próxima publicación. Entre ellas, destaca el supuesto de que el aumento de la recaudación fiscal provocado por cualquiera de las perturbaciones anteriormente descritas se devuelve a los hogares (que en el modelo son propietarios de las empresas) a través de transferencias de suma fija (*lump-sum*)¹⁸. Asimismo, es necesario examinar con cautela el alcance de los escenarios de transición

18 Si el aumento de la recaudación fiscal se devolviese a través de una reducción en los impuestos al trabajo, la simulación incluiría un *shock* de oferta expansivo, que, como es habitual en la literatura, puede superar el efecto negativo del impuesto sobre las emisiones. Dado que el objetivo es generar escenarios de estrés, el uso de transferencias *lump-sum* parece más adecuado.

IMPACTO DE LAS PERTURBACIONES SIMULADAS SOBRE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA

Diferencias respecto al escenario base en las tasas de variación acumuladas (t+1, t+2, t+3)

	PIB	Rango de impacto en el VAB sectorial no energético (a)	
		Mínimo	Máximo
Aumento de los precios de emisión	-0,6	-5,3	0,1
Ampliación de la cobertura del ETS	-0,3	-2,1	0,1
Combinación	-1,3	-8,4	0,3
Combinación, incluyendo la ampliación a hogares	-1,9	-9,1	0,3

FUENTE: Banco de España.

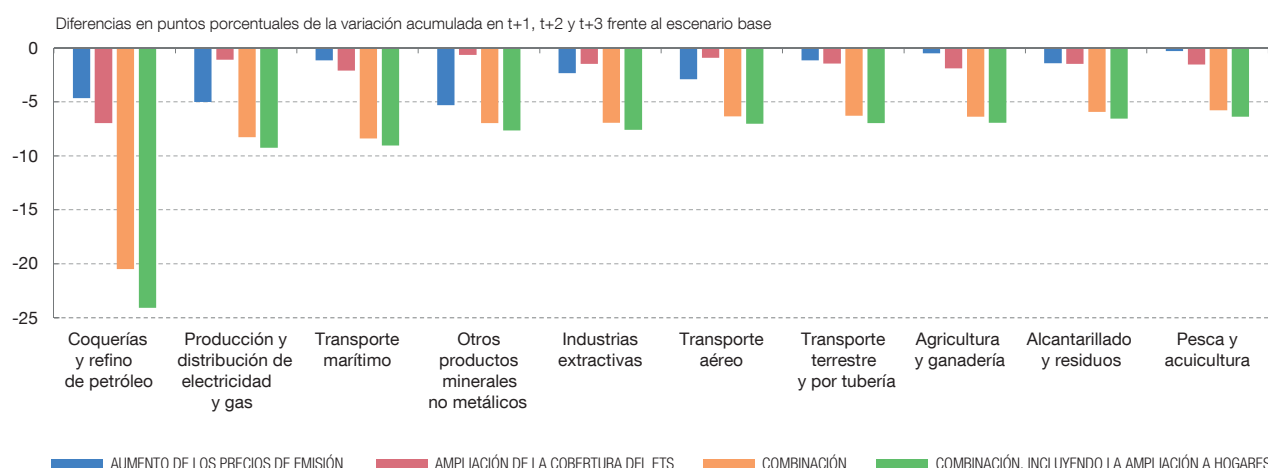
a El mínimo del rango de impacto en el VAB sectorial en cada escenario es la diferencia más negativa entre las tasas de variación acumuladas en los tres años del ejercicio y las medidas correspondientes en el escenario base. El máximo representa la diferencia análoga más positiva. Los escenarios 1) aumento del precio en los derechos de emisión, 2) ampliación de la cobertura del ETS, 3) combinación (de ambas perturbaciones) y 4) combinación, incluyendo la ampliación a hogares, corresponden a los descritos en el texto con la misma ordenación.

considerados, que no abarcan todas las posibles tipologías de estos¹⁹. Estas cautelas están relacionadas con la no inclusión de parte de los costes de ajuste y reasignación de recursos: en particular, el capital, el tratamiento de los hogares como agentes homogéneos o la exclusión de los efectos vía comercio internacional, centrándose en los efectos de la demanda interna. Por otro lado, se realiza el supuesto de que el aumento de precios de la energía en los escenarios es insuficiente para generar aumentos en la inflación permanentes que se trasladen al nivel de los tipos de interés, a correcciones marcadas en los mercados financieros o a perturbaciones significativas en los precios de la vivienda. Por tanto, los efectos de las perturbaciones recogidas en los escenarios podrían considerarse como una cota inferior.

En el cuadro 1 se observa que la perturbación más severa, reflejada en el escenario que combina el aumento de los precios de emisión y la ampliación del ETS a empresas y a hogares, daría lugar a una variación acumulada del PIB en tres años 1,9 pp menor que en el escenario base. El resto de los escenarios generarían diferencias en el PIB acumulado de entre -1,3 pp y -0,3 pp respecto al escenario base.

Por otro lado, se observa una gran dispersión en el impacto sectorial en todos los escenarios, como se muestra en los rangos mínimo y máximo. De hecho, el nivel de estrés del VAB de algunos de los sectores considerados por el modelo es muy superior al nivel de estrés del PIB agregado, especialmente en los escenarios con perturbaciones de mayor tamaño, como se muestra con más detalle en el gráfico 1.

19 Véase el recuadro 3.1 del Informe de Estabilidad Financiera de otoño [Banco de España (2021)], donde se exponen también las cautelas sobre el alcance de los escenarios de transición considerados.

CAÍDAS ACUMULADAS EN EL VAB RESPECTO AL ESCENARIO BASE (a)

FUENTE: Banco de España.

a Se representan los 10 sectores más afectados según la ordenación del escenario que combina un aumento del precio de las emisiones y la ampliación del ETS a empresas y a hogares (escenario más severo).

4 Modelización de las probabilidades de impago por sector de actividad económica

4.1 Marco general

El marco planteado modeliza la PD de las exposiciones a empresas y considera una segmentación granular por tres ejes: banco, sector de actividad y tamaño de empresa. La dimensión de tamaño de empresa se captura mediante tres categorías: empresarios individuales, pymes y grandes empresas²⁰. Además de las variables macro más agregadas (nivel de los tipos de interés, desempleo, crecimiento del precio de la vivienda, etc.), se considera el crecimiento del VAB, distinto por sector, así como ratios financieras obtenidas para agregados de empresas por sector y tamaño.

20 Se ha examinado la posibilidad de una segmentación mayor de las empresas de acuerdo con su tamaño; en concreto, distinguiendo dentro del grupo de las pymes entre las microempresas (por debajo de 10 empleados), las empresas pequeñas (10-49 empleados) y las medianas (entre 50 y 249 empleados). Esta desagregación resultaría de interés, ya que los tres grupos tienen características diferenciadas, destacando la relevancia cuantitativa del grupo de las microempresas y sus limitaciones específicas en el acceso al crédito, habitualmente reflejado en el uso de garantías hipotecarias. No obstante, bajo los modelos empleados, no sería factible en muchos sectores obtener para la estimación un número suficientemente representativo de empresas con la desagregación adicional por tamaño. La investigación futura considerará cómo extender adicionalmente el análisis del sector empresarial.

Cabe recordar que el resto de los factores de riesgo bancario y componentes del balance y de la cuenta de resultados que se proyectan en el ejercicio, como el valor de las garantías, el margen de interés o los APR, también son coherentes con los escenarios climáticos planteados, pero es la PD el canal a través del cual se introduce la heterogeneidad sectorial plasmada en ellos. Estos otros factores son proyectados según las variables macroeconómicas agregadas coherentes con los escenarios sectoriales.

4.2 Especificación

La PD se calcula a nivel de banco para distintos agregados de los sectores de actividad y del tamaño de las empresas²¹. De esta forma, pd_t^{bsg} indica la PD en el período $t = 1, \dots, T$ de las empresas vinculadas al banco $b = 1, \dots, B$, en el sector de actividad $s = 1, \dots, S$ y con tamaño $g = 1, \dots, G$.

Para la dimensión sectorial, se consideran además algunos agregados adicionales que serán necesarios en caso de no existir un número suficiente de observaciones para la estimación en determinados sectores. Se asume que cada sector de actividad s pertenece a una (y solo a una) agrupación de sectores afines o «rama» $r = 1, \dots, R$, con $R < S$. pd_t^{brg} indica la PD de dicha rama. De forma similar, el agregado de todos los sectores se denota como a , siendo su PD igual a pd_t^{bag} .

La probabilidad de impago pd_t^a coincide con la media ponderada por número de deudores de las PD de los sectores que la integran (para un año, banco y tamaño dados). De forma similar, pd_t^a es la media ponderada de todos los sectores, y también, a su vez, de todas las ramas. Para simplificar la notación, el índice i recorre todos los componentes sectoriales: los S sectores, las R ramas y el agregado total, de forma que $i = 1, \dots, I$, siendo $I = S + R + 1$. A dichos elementos se les denomina «unidades».

En la modelización de la PD se emplea una función de enlace *logit*. De esta forma, se define pd^* como:

$$pd^* = \ln(pd) - \ln(1 - pd) \quad [1]$$

Siendo su inversa:

$$pd = \exp(pd^*) / (1 + \exp(pd^*)) \quad [2]$$

21 Es útil subrayar que, a lo largo de este documento, la PD se refiere siempre a la agregada de un grupo de exposiciones de empresas determinado por el sector de actividad al que pertenecen dichas empresas, el tamaño con el que cuentan o el banco con el que tienen dicha exposición. De forma similar, las ratios financieras son siempre valores agregados de grupos de empresas determinados por su sector y tamaño (en este caso, no por el banco con el que tienen exposición).

Se consideran tres tipos de variables explicativas:

- El crecimiento del VAB en el período t , para el sector, la rama o el agregado total, así como su primer retardo: $rvag_t^i$ y $rvag_{t-1}^i$. Esta variable no varía por banco ni por tamaño de empresa.
- Un vector de otras M variables macro: $m_t = (m_t^1, \dots, m_t^M)$. Este vector no varía por banco, por unidad ni por tamaño. No se consideran retardos de este vector.
- Un vector de J ratios financieras agregadas por unidad y tamaño: $f_t^{ig} = (f_t^{1ig}, \dots, f_t^{Jig})$. Este vector no varía por banco y no se consideran retardos de él.

Con estos componentes, el marco plantea para la PD transformada un modelo de panel de B bancos diferenciado para cada unidad y tamaño:

$$pd_t^{*big} = \alpha^{ig} + \rho^{ig} pd_{t-1}^{*big} + \beta^{0ig} rvag_t^i + \beta^{1ig} rvag_{t-1}^i + \theta^{ig} m_t + \delta^{ig} f_t^{ig} + e_t^{big} \quad [3]$$

Donde α^{ig} , ρ^{ig} , β^{0ig} y β^{1ig} son escalares, mientras que θ^{ig} y δ^{ig} son vectoriales. La variable e_t^{big} es un término de error²².

Para realizar predicciones de pd_t^{*big} para períodos superiores a T son necesarias sendas de las variables explicativas de la expresión [3]. Tanto para el crecimiento del VAB como para el vector de variables macro dichas sendas forman parte de los escenarios. En el caso de las ratios financieras, no obstante, se generan internamente dentro del marco.

Para ello, se ha optado por un modelo de panel de los S sectores para cada ratio financiera $j = 1, \dots, J$, en cada tamaño $g = 1, \dots, G$, según la especificación:

$$f_t^{jsg} = c^{jsg} + \phi^{jg} f_{t-1}^{jsg} + \gamma^{jg} rvag_t^s + \vartheta^{jg} m_t + u_t^{jsg} \quad [4]$$

donde c^{jsg} son efectos fijos de sector para cada ratio financiera y tamaño, γ^{jg} es un escalar, y ϕ^{jg} y ϑ^{jg} son vectoriales. u_t^{jsg} es un término de error. Estas dinámicas de las ratios financieras, resumidas en los parámetros del modelo en [4], se aplican por

22 Esta especificación no cuenta con efectos fijos de banco, es una *pooled regression*. Si bien la inclusión de efectos fijos proporciona ventajas para la identificación dentro de la muestra, impondría una cierta rigidez a las proyecciones fuera de la muestra en términos de las diferencias entre unidades que sería un detrimento al propósito principal del ejercicio, que es prospectivo. La longitud temporal disponible es relativamente larga (veinte años) y las especificaciones implementadas son testadas para descartar la presencia de autocorrelación, limitando los efectos no deseados de la no inclusión de estos efectos fijos.

simplicidad a todos los niveles de agregación sectorial: sector individual, rama y agregado de la economía²³.

Las predicciones para las PD pd_t^{big} a lo largo del horizonte de predicción, $t = T + 1, \dots, H$, se obtienen entonces a partir de [3], con las ratios financieras proyectadas en función de [4].

Por último, las predicciones para pd_t^{bsg} son ajustadas para garantizar, dado un tamaño, la coherencia entre las predicciones de la PD a nivel sector y la predicción agregada, como se analiza en el anejo.

4.3 Estimación

La especificación [3] se identifica de forma separada para cada unidad (sector, rama de actividad, agregado total) y tamaño con un panel de B bancos. Se identifican por tanto I-G modelos. El proceso de identificación sigue, dados una unidad y tamaño, un esquema general de búsqueda exhaustiva que garantiza modelos con coeficientes significativos, signos coherentes con la teoría económica (e. g., mayores niveles de PD asociados a empeoramiento del crecimiento del VAB), ausencia de autocorrelación en los residuos y una capacidad explicativa razonable dentro de la muestra. La implementación de este proceso devuelve, para cada unidad y tamaño, una especificación final.

En caso de que el proceso de búsqueda exhaustiva deje vacío el conjunto de especificaciones admisibles para una unidad y tamaño, se imputa a esta el modelo de su rama asociada y, en caso de que para esta también haya quedado vacío el conjunto de especificaciones admisibles, se imputa el modelo agregado²⁴.

Por su parte, la identificación de [4] también se lleva a cabo de forma separada, en este caso por ratio financiera y tamaño, si bien no se recurre a un proceso de búsqueda exhaustiva. En su lugar, se lleva a cabo una selección manual en la que se favorece en lo posible una especificación parsimoniosa con las mismas características que en la selección automática aplicada a [3].

La estimación de [4] se realiza mediante OLS. Al contener la especificación efectos fijos de panel (los sectores de actividad) y contar también con término autorregresivo,

23 En el caso de las ecuaciones de ratios financieras, sí se consideran efectos fijos, pero estos son a nivel de sector y no de banco, bajo el supuesto de una mayor estabilidad de estos efectos medios invariantes en el tiempo a este mayor nivel de agregación. Como se estiman ecuaciones de PD distintas para cada sector, en particular con una constante propia, las ecuaciones [3] y [4] son coherentes en cuanto al nivel de agregación para el que se consideran los efectos fijos.

24 Este procedimiento es vulnerable a la situación en la que para el agregado sectorial tampoco hubiera ninguna especificación admisible. Este caso, no obstante, no se ha experimentado en la práctica. En la imputación se ajusta el término constante para garantizar la coherencia en la media de las variables.

se induce un sesgo en los coeficientes estimados. La alternativa habitual es la consideración de un método de estimación GMM, como el estimador de Arellano-Bond (1991) u otras variantes. No obstante, esta opción alternativa de estimación plantea la necesidad de hacer una elección adicional de especificación dentro de un conjunto amplio de instrumentos. Dado el propósito de aplicar este método de estimación de forma recurrente, el conjunto de los instrumentos válidos puede variar en el tiempo, haciendo menos estable la especificación. Por todo ello, y dado que el sesgo esperado inducido por el método OLS se reduce²⁵ según crece el valor de T , se favorece esta opción frente a la estimación GMM. Para verificar que el sesgo no es relevante con la muestra actual, se han contrastado los valores de los coeficientes con los que se obtendrían bajo una formulación GMM.

La implementación de la metodología anterior con las fuentes de información disponibles se lleva a cabo bajo ciertas consideraciones prácticas. En primer lugar, se emplea una PD de horizonte a 12 meses, medida con frecuencia anual. La ventana de observación de los datos es 2000-2019, y el horizonte de predicción es de tres años²⁶. La PD en cada período de observación para cada banco, unidad y tamaño se calcula a partir de la CIRBE.

Las variables macro consideradas, además del crecimiento del VAB, son: el euríbor a 12 meses, la tasa de paro, el crecimiento del PIB real, el crecimiento del índice de la bolsa y el crecimiento del precio de la vivienda. Para la especificación [3] se prescinde del crecimiento del PIB real, ya que la correlación entre esta variable y el crecimiento del VAB (variable sectorial) puede confundir la estimación del efecto del ciclo sobre el riesgo de impago.

Se consideran tres ratios financieras, medidas en dos percentiles (es decir, calculadas como un percentil de la muestra de empresas en cada período y para cada sector y tamaño). Las tres ratios financieras son: i) EBITDA más ingresos financieros sobre costes financieros, como *proxy* del flujo de recursos generados para hacer frente a los costes financieros; ii) ROA, y iii) fondos propios sobre activo. Los percentiles son el 50 (mediana) y el 25 (empresas en situación desfavorable). Las seis ratios financieras se calculan con información de la Central de Balances del Banco de España (CBBE), habiéndose eliminado de la muestra aquellas empresas sin deuda financiera. Se asume que, pese a no ser idénticas²⁷, las poblaciones de la CIRBE y de la CBBE son coherentes, y los datos provenientes de la segunda son lo suficientemente representativos como para informar del comportamiento de impago de las empresas incluidas en la primera. Para que la inclusión de las ratios financieras

25 Véase Nickell (1981).

26 Como se ha detallado en la sección 3, el escenario base refleja una senda tendencial y el resto de los escenarios reflejan perturbaciones sobre dicha senda. Los años del horizonte del ejercicio, $T+1$, $T+2$ y $T+3$, no se vinculan con un determinado T .

27 La discrepancia es debida a que el universo de empresas que declaran a la CBBE no necesariamente coincide con el universo de empresas que tienen una deuda bancaria viva.

de la CBBE como explicativas sea útil, no es necesario que sus valores medios sean comparables con los de las empresas de la CIRBE, sino que es suficiente que exista correlación en el ciclo financiero de ambos grupos, y que esta no sea capturada con las variables macroeconómicas.

La dimensión sectorial recoge 61 sectores de actividad²⁸, que representan aproximadamente la descomposición de la CNAE a dos dígitos, con mayor detalle en las actividades más susceptibles de verse afectadas por la transición verde. Estos 61 sectores se agrupan en 21 ramas.

La dimensión de tamaño de empresa se captura mediante tres categorías: empresarios individuales, pymes y grandes empresas. Puesto que la CBBE no dispone de información para empresarios individuales, se han utilizado los ratios financieras de las pymes como *proxy* de su situación financiera²⁹.

5 Resultados

Se presentan en esta sección los resultados de la aplicación del marco metodológico descrito. En primer lugar, el gráfico 2 muestra las diferencias entre cada escenario adverso y el base de las proyecciones medias para los tres años de horizonte del ejercicio del ROA de los sectores empresariales más afectados por los cambios de política ambiental bajo estudio³⁰. Como cabe esperar, las caídas son más acusadas en los escenarios que combinan ambos efectos, aumento de precios y ampliación de la cobertura del ETS, en especial cuando estos se extienden a los hogares. En el caso de las pymes, las mayores diferencias respecto del escenario base se dan en coquerías y refino de petróleo (caída de 2,56 pp en el escenario más adverso para el percentil 50 y de 2,78 pp en el 25), producción y distribución de energía eléctrica y de gas³¹ (0,93 pp en el percentil 50 y 1 pp en el 25), fabricación de otros minerales no metálicos (0,77 pp en el percentil 50 y 0,83 pp en el 25) y, por último, transporte terrestre y por tubería (0,72 pp en el percentil 50 y 0,79 pp en el 25). En el caso de grandes empresas, los sectores más afectados son los mismos, pero la magnitud del impacto es algo menor.

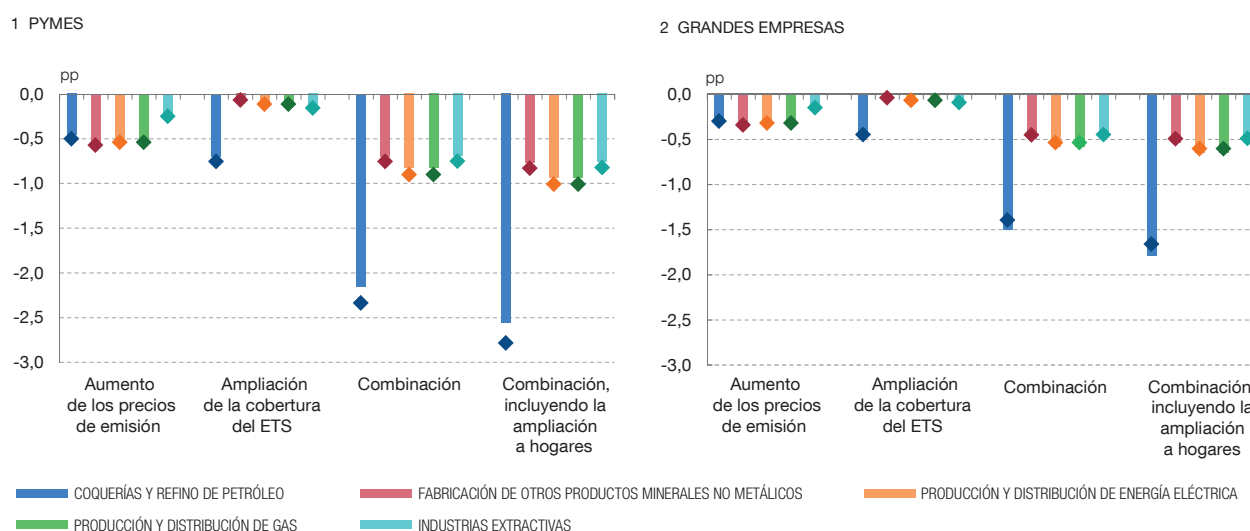
28 Si bien los escenarios se diseñan para 53 sectores de actividad, el marco FLESB considera 61 sectores para presentar una mayor desagregación en carteras con comportamientos potencialmente diferentes en términos de riesgo de impago o bien con una particular afectación por el riesgo de cambio climático. Para ello, se aplican las sendas de crecimiento del VAB disponibles mediante los escenarios a la sectorización más granular utilizada en el FLESB en función de su similitud en la respuesta al ciclo.

29 Si este supuesto no fuera adecuado, los ratios financieras de pymes aparecerían de forma general como no significativas en el ejercicio de estimación y no serían utilizadas para la estimación final de acuerdo con el algoritmo utilizado.

30 Se consideran sectores más afectados aquellos con mayor aumento de PD en el escenario más adverso respecto al base. Resultados similares para las ratios de apalancamiento y cobertura de gastos de interés están disponibles bajo petición a los autores.

31 Ambos sectores presentan la misma caída porque en los escenarios reciben sendas de crecimiento del VAB similares. No obstante, de cara a la proyección de la PD, se tratan separadamente.

DIFERENCIAS EN EL ROA ESTIMADO MEDIO ENTRE LOS ESCENARIOS ADVERSOS Y BASE (a)



FUENTE: Banco de España.

a Las barras representan las estimaciones para el percentil 50 (empresa mediana), mientras que los diamantes representan las estimaciones para el percentil 25 (empresa en situación financiera desfavorable).

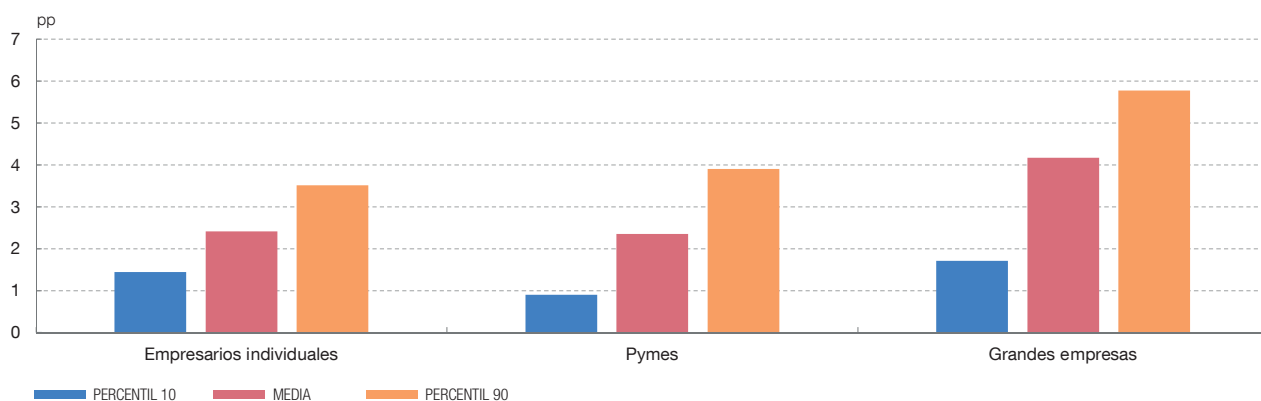
Para ilustrar la sensibilidad de la PD al crecimiento del VAB según los modelos estimados, el gráfico 3 presenta, para cada uno de los tres tamaños de empresa considerados, la media y los percentiles 10 y 90 de la distribución de las semielasticidades de la PD al crecimiento del VAB³² sobre los 61 sectores de actividad considerados. Las distribuciones de las semielasticidades para empresarios individuales y para pymes son similares, con valores medios de 2,41 pp y 2,35 pp, respectivamente, mientras que la de grandes empresas bascula hacia valores algo más grandes, con un valor medio de 4,16 pp. En el modelo entran también otras variables explicativas, tanto macroeconómicas como ratios financieras, que guardan correlación con el crecimiento del VAB, por lo que la sensibilidad neta de las PD al ciclo económico debe medirse, en cualquier caso, mediante un análisis de escenarios completos³³.

Una vez especificados y estimados los distintos modelos de PD sectoriales, estos se aplican para obtener proyecciones en un horizonte de tres años de acuerdo con el escenario base y con los distintos escenarios de aplicación de distintas extensiones del ETS. El gráfico 4 muestra las desviaciones con respecto al escenario base de la

32 Al haberse empleado una regresión logística, la semielasticidad de la PD a la variable x en el punto pd^* viene dada por $\beta(1 - pd^*)$, siendo β el coeficiente de la variable x en la regresión. Para el gráfico 3 se ha tomado como pd^* el valor medio de la serie, y como β la suma de los coeficientes contemporáneo y primer retardo, pudiendo ser el segundo igual a 0 en función de la especificación seleccionada.

33 Cabe señalar, además, que, aunque aparentemente estas semielasticidades no son muy elevadas, los crecimientos del VAB pueden ser muy grandes (superiores incluso al 10 % en valor absoluto) y la función *logit* es no lineal, los cambios en la PD ante modificaciones en el crecimiento del VAB sí son materiales desde un punto de vista económico.

SEMILEALASTICIDADES DE LA PD AL CRECIMIENTO DEL VAB



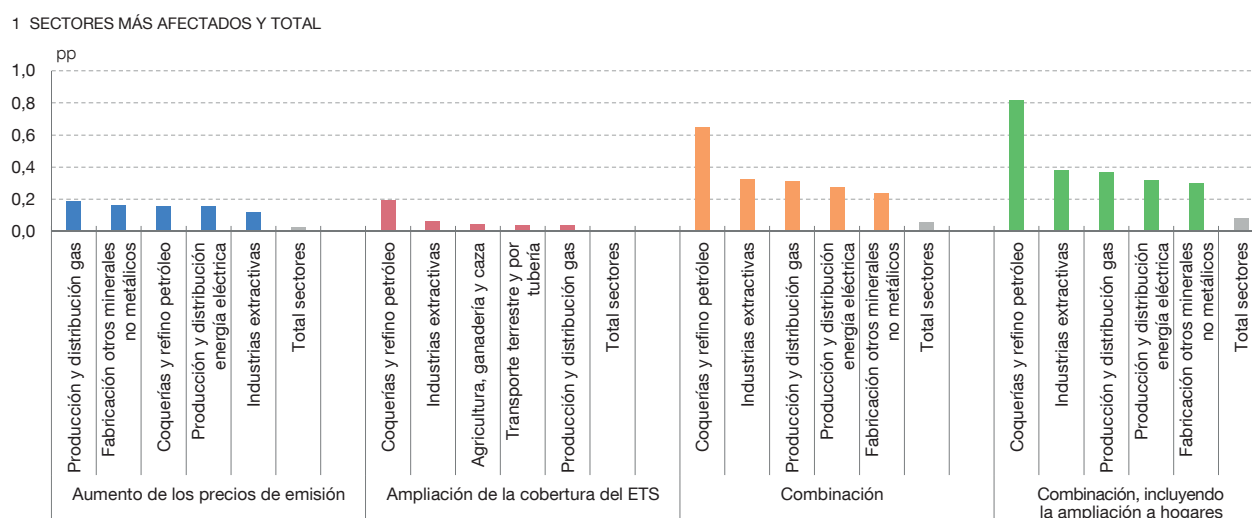
FUENTE: Banco de España.

PD media en el horizonte de proyección de los cinco sectores más afectados³⁴ en cada escenario, así como para el total de los sectores.

En el gráfico 4 se observa, como en todos los escenarios en los que hay un aumento de los precios de emisión, que el grupo de sectores con mayores incrementos de PD lo forman un conjunto de actividades intensivas en la emisión de CO₂: las industrias extractivas, la fabricación de minerales no metálicos, la producción y distribución de gas y electricidad, las coquerías y el refino de petróleo. Cuando se considera solo la extensión del ETS, algunos sectores que no estaban previamente cubiertos por aquel, como la agricultura o ciertas ramas del transporte, aparecen entre los más afectados. En el escenario en el que solo se considera un aumento de precios de los derechos de emisión, el efecto en la PD de los distintos sectores intensivos en emisiones es más simétrico, mientras que extender el ETS a más conjuntos de sectores, dando lugar a una mayor contracción de la demanda agregada, origina una ordenación con un mayor efecto diferencial adverso sobre el refino de petróleo y coquerías, y, en menor medida, sobre las industrias extractivas y la producción y distribución de gas. En todos los escenarios con aumento de los precios de emisión, el impacto en la PD de estos sectores más afectados es varios órdenes de magnitud superior al del conjunto de los sectores, esto es, el impacto sectorial de los escenarios es fuertemente asimétrico.

Según lo esperado, los sectores con mayores aumentos de PD son aquellos que presentan caídas de VAB más notables en los escenarios, ambas medidas respecto al escenario base. El gráfico 5 muestra la correlación entre las diferencias base-adverso de la PD y la variación del VAB para los escenarios de aumento de precios

³⁴ Se consideran sectores más afectados aquellos con mayor aumento de PD en los escenarios respecto al base.

DIFERENCIAS DE LAS PD MEDIAS ENTRE CADA ESCENARIO Y EL BASE (a)

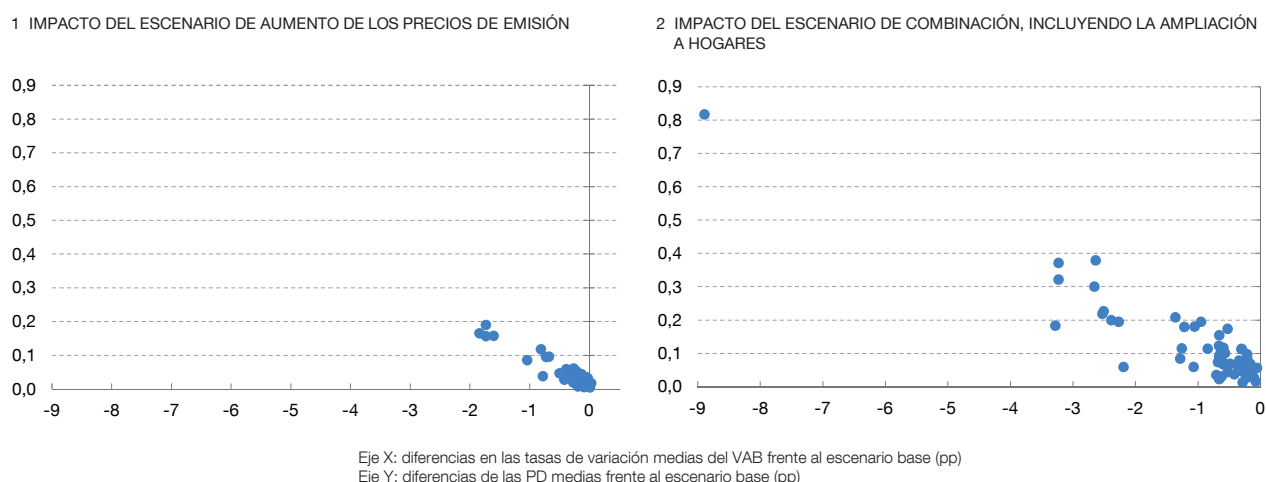
FUENTE: Banco de España.

a PD de exposiciones a grandes empresas, pymes y empresarios individuales. Las PD se estiman para cada banco, pero se presenta la media ponderada por número de acreditados.

de las emisiones (panel izquierdo), y de combinación de todos los efectos, incluida la extensión de la cobertura del ETS a todas las empresas y los hogares (panel derecho). Se puede observar cómo en ambos escenarios la mayoría de los sectores se concentran en un rango acotado de efectos en términos de VAB y PD, mientras que un grupo reducido de sectores, más intensivos en emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero o más sensibles a las perturbaciones de la actividad (por ejemplo, el sector inmobiliario), sufren mayores deterioros. Cabe destacar el punto situado en la esquina superior izquierda en el panel del escenario más severo, que representa el sector de coquerías y refino de petróleo, y muestra la mayor diferencia media en la caída del VAB (–8,9 pp) y de PD media en 2021-2023 (0,82 pp).

Una vez proyectadas las PD para cada escenario y para el conjunto de todas las carteras de crédito empresarial teniendo en cuenta sus características (sector y tamaño de las empresas), se estiman el resto de los parámetros de riesgo de crédito necesarios para formar una estimación de las pérdidas de crédito esperadas en las exposiciones a empresas: otras probabilidades de transición entre estados de calidad de crédito, pérdidas esperadas en caso de entrada en un estado de calidad de crédito dudosa (LGD), etc. Este resto de los parámetros no depende de la situación de actividad sectorial, sino directamente de las variables macroeconómicas agregadas (entre ellas, el crecimiento del PIB, el desempleo y el precio de la vivienda). También se estiman los parámetros de riesgo de crédito de otras carteras de crédito (hipotecaria y consumo), y otros factores que participan en el ejercicio de pruebas de resistencia (riesgo de exposición soberana, generación de margen de interés y otras

DIFERENCIAS BASE-ADVERSO DE LAS PD MEDIAS Y VARIACIÓN DEL VAB PARA LOS ESCENARIOS DE COSTES DE TRANSICIÓN (a)



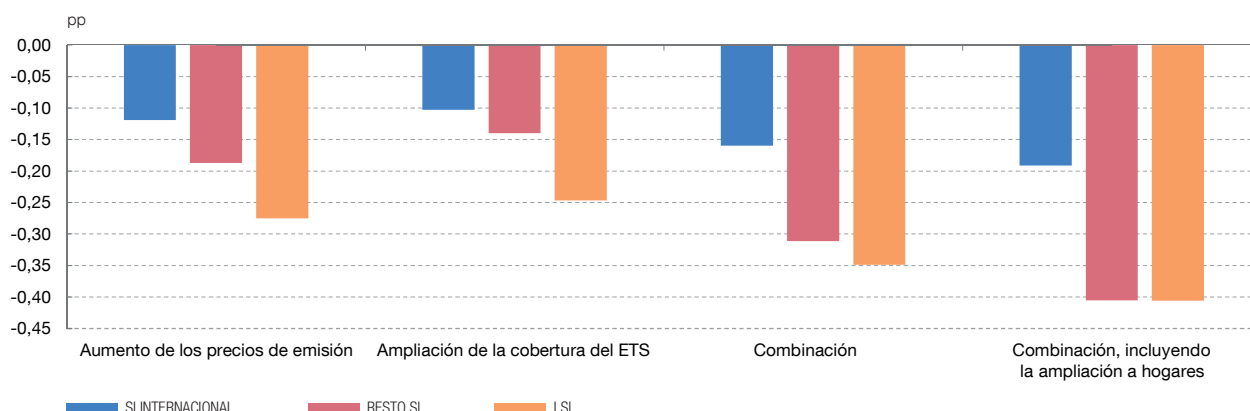
FUENTE: Banco de España.

a Cada punto del gráfico representa un sector. La estimación de las PD a lo largo del horizonte de proyección se realiza para cada banco, pero se representan las diferencias en las medias ponderadas para cada sector. La ponderación se realiza por número de titulares.

partidas de cuentas de resultados, etc.), con los procedimientos habituales del FLESB.

De esta manera, el marco permite estimar el impacto neto de los escenarios en la rentabilidad de las entidades bancarias españolas. El gráfico 6 muestra las diferencias base-adverso de la ratio de beneficios después de impuestos acumulados en el escenario sobre APR para tres grupos de entidades españolas: las entidades sujetas a la supervisión directa del BCE que cuentan con una actividad internacional más significativa (SI Internacional), el resto de las entidades bajo supervisión directa del BCE (Resto SI) y las entidades bajo supervisión directa de Banco de España (LSI).

El escenario de aumento de los precios de emisión tiene un impacto mayor que el escenario de la ampliación de la cobertura del ETS para todos los grupos, en línea con los mayores incrementos de PD y el mayor deterioro del cuadro macroeconómico agregado que están asociados él. En ambos escenarios, el deterioro es mayor en las entidades LSI y en las supervisadas por el BCE sin actividad internacional significativa, dado que los cambios de política ambiental considerados aplican únicamente a España, y se obtiene un efecto positivo de la diversificación en otros países para el grupo SI Internacional. Según lo esperado, en el escenario en el que se combinan efectos de precios y extensión del ETS a otros sectores empresariales, las diferencias en la ratio son mayores: de $-0,16$ pp, $-0,31$ pp y $-0,35$ pp para las SI Internacional, Resto SI y LSI, respectivamente. Por último, en el escenario que incluye además la ampliación de la cobertura del ETS a los hogares, las caídas

DIFERENCIAS ENTRE CADA ESCENARIO Y EL ESCENARIO BASE DE LA RATIO DE BENEFICIO DESPUÉS DE IMPUESTOS SOBRE APR (a) (b)


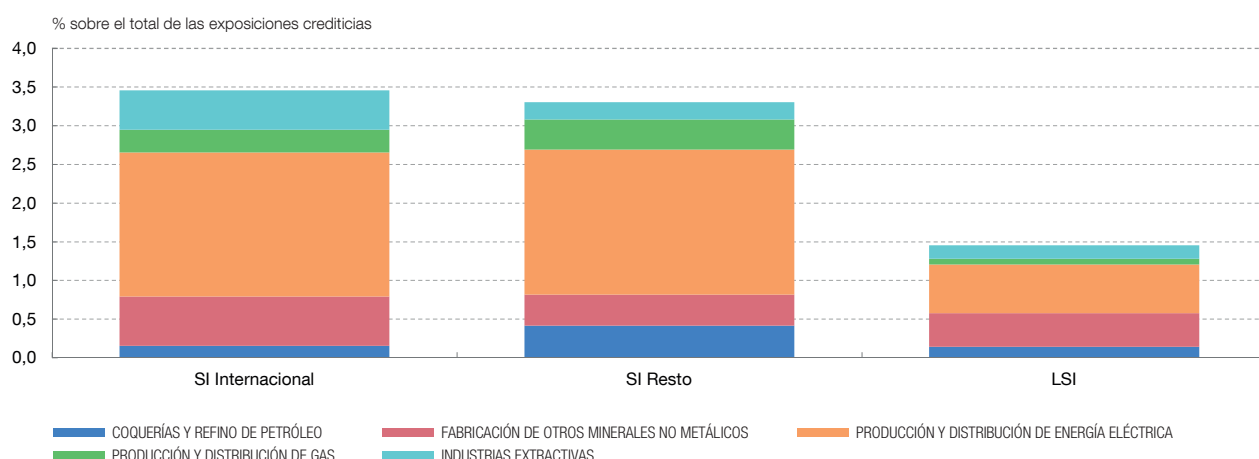
FUENTE: Banco de España.

- a Para calcular la ratio, el numerador (beneficios después de impuestos) se acumula para los tres años del ejercicio, mientras que el denominador corresponde al valor de los APR medios en el mismo período.
- b El gráfico muestra diferencias porcentuales absolutas respecto al escenario base. No obstante, dado que la ratio de rentabilidad para el Resto SI es significativamente menor que para el resto de los grupos, si se relativizara el impacto con la ratio en el escenario base [(ratio adverso - ratio base)/ratio base], el efecto para el Resto SI sería mayor que para el resto de los grupos. Esto se vincula a que no disponen de la diversificación internacional y, en comparación con las LSI, a que tienen más exposición a los sectores más sensibles a los riesgos de transición considerados.

respecto del escenario base se sitúan en -0,19 pp, -0,41 pp y -0,41 pp, respectivamente.

El impacto de estos escenarios es, en buena medida, contenido gracias a que la distribución sectorial de las exposiciones crediticias de los bancos españoles a los sectores intensivos en emisiones es reducida. El gráfico 7 muestra el porcentaje que suponen los cinco sectores más sensibles a los riesgos de transición (aquellos con mayores incrementos base-adverso de la PD en el escenario más severo que combina las distintas políticas) sobre el total de las exposiciones crediticias de empresas en España para los tres grupos de entidades analizados previamente. Se observa que este porcentaje supone entre el 3,5 % para los grupos SI Internacional y el 1,5 % para las LSI. Asimismo, analizando las exposiciones crediticias de entidades bancarias individuales no se observa una elevada concentración en las exposiciones a estos sectores en ninguna de ellas³⁵. Hay que tener en cuenta que el impacto final del ejercicio sobre la solvencia de las entidades no depende solo de esta distribución sectorial, sino también del peso de la actividad crediticia sobre el conjunto del total activo, y de la sensibilidad de cada entidad a la perturbación de las condiciones macroeconómicas agregadas, que también induce la modificación de estas políticas.

35 Para mayor información sobre la concentración de las entidades españolas en sectores potencialmente afectados por la transición hacia una economía libre de emisiones, véase Delgado (2019).

PORCENTAJE DE EXPOSICIONES CREDITICIAS DE LOS BANCOS ESPAÑOLES A SECTORES SENSIBLES (a)

FUENTE: Banco de España.

a Se consideran las exposiciones crediticias en España.

6 Conclusiones

Este artículo presenta la primera prueba de resistencia al riesgo climático llevada a cabo por el Banco de España sobre el conjunto de las entidades de depósito españolas. El foco del análisis son los riesgos de transición en el corto plazo derivados de las políticas ambientales orientadas a reducir las emisiones de CO₂ (encarecimiento de los permisos de emisión y extensión de su requerimiento a más sectores), así como su impacto heterogéneo sobre los distintos sectores de actividad económica. Ambos componentes se han incorporado en la herramienta *top-down* FLESB, de la que dispone el Banco de España para la realización de pruebas de resistencia. Para ello, se han aplicado escenarios macroeconómicos que recogen estos riesgos de transición, desarrollados con el modelo CATS del Banco de España, y se ha extendido la metodología de riesgo de crédito del FLESB para permitir modelizar las probabilidades de deterioro crediticio (PD) con una elevada granularidad sectorial, con sensibilidad al crecimiento del VAB y a la situación financiera de las empresas en distintos sectores de actividad. Estas innovaciones son útiles para la modelización del riesgo de crédito en escenarios de crisis generales, más allá de las vinculadas a los riesgos climáticos.

El ejercicio muestra que los impactos de los escenarios de transición a corto plazo sobre la rentabilidad y la solvencia del sector bancario español son moderados, si bien el impacto en la PD y en la situación financiera es heterogéneo entre sectores. En particular, los sectores más vinculados a la emisión de gases de efecto invernadero resultarían ser los más afectados. Estas exposiciones representan, sin embargo,

una fracción muy limitada del total de los préstamos del sector bancario a la actividad empresarial en España. Las entidades bancarias españolas serían, por tanto, capaces de absorber la materialización de los riesgos de transición de corto plazo contemplados en este ejercicio, que se centran en las perturbaciones de la actividad de los distintos sectores económicos.

Es necesario enfatizar que el ejercicio realizado debe entenderse como un primer hito en la cuantificación de los riesgos climáticos por parte del Banco de España. La investigación futura analizará la modelización de los riesgos físicos (desertificaciones, inundaciones, incendios, etc.) en el entorno macroeconómico y en el sector bancario, y riesgos adicionales de la transición a una economía verde, como los derivados de la sustitución del capital productivo para adoptar nuevas tecnologías o de los efectos del mayor coste de los permisos de emisión sobre las dinámicas de precios.

Por último, es relevante destacar la utilidad de esta clase de ejercicios para informar las decisiones de política monetaria. A pesar de que el cambio climático y sus consecuencias económicas y físicas exceden el ámbito estricto del sector bancario, y de que este primer ejercicio examina solo un conjunto acotado de los riesgos totales, el análisis realizado contribuye a reducir la incertidumbre en torno al efecto de las políticas para combatir el cambio climático. Encontrar un impacto limitado de ciertos riesgos de transición aporta información, todavía parcial, para guiar la valoración de coste-beneficio de la adopción de medidas y permite orientar la investigación futura hacia otras fuentes de riesgos de transición y físicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, P., B. González y S. Hurtado (2021). «Diseño de escenarios macroeconómicos para las pruebas de resistencia de cambio climático», *Revista de Estabilidad Financiera*, n.º 40, Banco de España.
- Allen, T., et al. (2020). *Climate-related scenarios for financial stability assessment: An application to France*, Banque de France Working Paper No. 774.
- Alogoskoufis, S., D. Nepomuk, T. Emambakhsh, T. Hennig, M. Kaijser, C. Kouratzoglou, M. A. Muñoz, L. Parisi y C. Salleo (2021). *ECB economy-wide climate stress test. Methodology and results*, ECB Occasional Paper n.º 281, septiembre.
- Arellano, M., and S. Bond (1991). «Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations», *Review of Economic Studies*, 58, pp. 277-297.
- Autoridad Bancaria Europea (2019). *EBA Action Plan on Sustainable Finance*, de 6 de diciembre.
- Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (2021). «A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise», *Analyses et Synthèses*, n.º 122-2021.
- Banco Central Europeo (2020). *Guía sobre riesgos relacionados con el clima y medioambientales*, 27 de noviembre.
- Banco Central Europeo y Junta Europea de Riesgo Sistémico (2021). *Climate-related risk and financial stability*, 1 de julio.
- Banco de España (2021). *Informe de Estabilidad Financiera*, otoño, 4 de noviembre.
- Banco de España (2020). *Expectativas supervisoras del Banco de España sobre los riesgos derivados del cambio climático y del deterioro medioambiental*, 23 de octubre.
- Bank of England (2021). *Key elements of the 2021 Biennial Exploratory Scenario: Financial risks from climate change*, 8 de junio.
- Baudino, P., y J.-P. Svoronos (2021). «Stress-testing banks for climate change – a comparison of practices», *FSI Insights*, n.º 34, Banco de Pagos Internacionales, 14 de julio.
- Comisión Europea (2003). *Recomendación de la Comisión, de 6 de mayo de 2003, sobre la definición de microempresas, pequeñas y medianas empresas*.
- Delgado, M. (2019). «Transición energética y estabilidad financiera. Implicaciones para las entidades de depósito españolas», *Revista de Estabilidad Financiera*, n.º 37, Banco de España.
- Devulder, A., y N. Lisack (2020). *Carbon Tax in a Production Network: Propagation and Sectoral Incidence*, Banque de France Working Paper n.º 760.
- Junta Europea de Riesgo Sistémico (2020). *Positively Green. Climate Change Risks and Financial Stability*, 14 de junio.
- Network for Greening the Financial System (2020a). *Guide for Supervisors. Integrating climate-related and environmental risks into prudential supervision*, Technical document, mayo.
- Network for Greening the Financial System (2020b). *Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors*, Technical document, junio.
- Network for Greening the Financial System (2020c). «NGFS publishes a first set of climate scenarios for forward looking climate risks assessment alongside a user guide, and an inquiry into the potential impact of climate change on monetary policy», nota de prensa de 24 de junio.
- Network for Greening the Financial System (2021). *NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors*, junio.
- Nickell, S. (1981). «Biases in Dynamic Models with Fixed Effects», *Econometrica*, vol. 49, n.º 6, pp. 1417-1426.
- Vermeulen, R., E. Schets, M. Lohuis, B. Kolbl, D.-J. Jansen y W. Heeringa (2018). *An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands*, De Nederlandsche Bank Occasional Studies, vol. 16-7.
- Vermeulen, R., E. Schets, M. Lohuis, B. Kolbl, D.-J. Jansen y W. Heeringa (2019). *The Heat is on: a framework for measuring financial stress under disruptive energy transition scenarios*, De Nederlandsche Bank Working Paper n.º 625.

Las predicciones para pd_t^p son ajustadas para garantizar, dado un tamaño, la coherencia entre las predicciones de la PD a nivel sectorial y la predicción agregada. Para ello, se impone que, dado un tamaño, y para cada período del horizonte de predicción, la media ponderada de las PD de los S sectores en los B bancos sea igual a la PD agregada del tamaño. Es decir, debe cumplirse que:

$$\sum_{s,b=1}^{\alpha} m_T^{bsg} pd_t^{bsg} = pd_t^{ag} \quad [A.1]$$

para cada período $t = T + 1, \dots, H$ y cada tamaño $g = 1, \dots, G$, siendo m_T^{bsg} el número de deudores del banco b , en el sector s , en el tamaño g , en el último período de observación, T^1 .

Puesto que el marco propuesto no garantiza que se cumpla la condición [A.1] al proyectar de forma separada las probabilidades de impago sectoriales y la agregada, esta condición se impone por medio de un escalar positivo para cada tamaño y período temporal del horizonte de predicción, k_t^g , que multiplica las predicciones de PD de todos los bancos y sectores que se obtienen del modelo desagregado. Se trata, por tanto, de un escalado lineal. El coeficiente k_t^g se calibra con el objetivo de satisfacer la ecuación [A.1].

Es decir, la predicción final, pd_t^{bsg} , $t = T + 1, \dots, H$, viene dada por:

$$pd_t^{bsg} = k_t^g pd_t^{bsg} \quad [A.2]$$

Este ajuste permite interpretar la predicción final para cada banco como la agregación de dos efectos: la evolución sistémica de la PD por tamaño de la empresa y la dispersión de dicha PD entre sectores de actividad. Al realizarse el ajuste para el agregado de los bancos, en vez de banco a banco, se garantiza que la distinta composición sectorial de sus carteras se refleje en la estimación. Si se realizara el ajuste banco a banco, la PD agregada del tamaño vendría dada por el modelo agregado, siendo por ello insensible a la composición sectorial de la entidad. Por el contrario, el ajuste a nivel agregado permite, por ejemplo, que, si una entidad tiene una concentración mayor que el agregado del sistema en sectores con predicciones de PD más altas (por tener una mayor sensibilidad al escenario climático), entonces su PD agregada por tamaño de la empresa también tenderá a ser mayor que la del conjunto del sistema.

¹ La ponderación por número de deudores de cada sector se mantiene constante en el tiempo, por el elevado coste computacional de recalcularlo su número en cada período y por su relativa estabilidad dentro del horizonte de proyección.

