

Sensibilidad de la banca a impuestos al carbono: Enfoque prudencial para Chile

Diego Beas · Cristian Rojas



Regulador y Supervisor Financiero de Chile

The Working Papers series is a publication of the Financial Market Commission (CMF), whose purpose is to disseminate preliminary research in the finance area for discussion and comments. These works are carried out by professionals of the institution or entrusted by it to third parties.

The objective of the series is to contribute to the discussion and analysis of relevant topics for financial stability and related regulations. Although the Working Papers have the editorial revision of the CMF, the analysis and conclusions contained therein are the sole responsibility of the authors.

La serie de Documentos de Trabajo es una publicación de la Comisión para el Mercado Financiero (CMF), cuyo objetivo es divulgar trabajos de investigación de carácter preliminar en el área financiera, para su discusión y comentarios. Estos trabajos son realizados por profesionales de esta institución o encargados por ella a terceros.

El objetivo de la serie es aportar a la discusión y análisis de temas relevantes para la estabilidad financiera y normativas relacionadas. Si bien los Documentos de Trabajo cuentan con la revisión editorial de la CMF, los análisis y conclusiones en ellos contenidos son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Documentos de Trabajo de la Comisión para el Mercado Financiero (CMF) Financial Market Commission (CMF)
Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1449, Santiago, Chile Teléfono: (56) 22617 4058

Copyright ©2021 CMF
Todos los derechos reservados

Sensibilidad de la banca a impuestos al carbono: Enfoque prudencial para Chile^{*}

Diego Beas

Cristian Rojas

CMF Chile

CMF Chile

Mayo 2026

Resumen

El presente estudio desarrolla una simulación de los efectos prudenciales que podría tener la banca ante un aumento del impuesto al carbono en Chile. Para esta simulación se utiliza información micro de las firmas y de las relaciones de crédito con la banca. Primero, se estima el aumento de la probabilidad de incumplimiento (PD, por sus siglas en inglés) de las firmas ante un aumento permanente de los impuestos al carbono, lo que luego se traduce en un impacto en los niveles de capital requeridos para las instituciones bancarias. Los resultados indican que puede haber efectos significativos en las PD de las firmas del sector eléctrico debido a este impuesto, así como en otras industrias. A nivel de sistema, si el impuesto aumentara en USD 200 por tonelada de CO₂ emitida, el efecto en los niveles de solvencia llegaría a los 6 pb, lo que significaría pérdidas adicionales de 6 pb de los activos totales. Además, algunas instituciones pueden mostrar caídas en los niveles de solvencia de 14 pb. Las limitaciones del estudio son que no se conoce la senda que podría tomar el impuesto en la práctica y que no se incorporan los efectos dinámicos adaptativos de las firmas.

^{*}Las opiniones emitidas en este trabajo, así como sus errores y omisiones, son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la visión de la Comisión para el Mercado Financiero. Se agradecen los comentarios y sugerencias del referato interno, los miembros del Comité Editorial, así como también los de otros participantes en seminarios internos donde este estudio fue presentado y aquellos recibidos durante la IX Conferencia Anual de la Comisión para el Mercado Financiero (CMF) “100 años de supervisión bancaria en Chile” donde este estudio fue presentado. Beas: dbeas@cmfchile.cl; Rojas: carojas@cmfchile.cl.

1. Introducción

El riesgo climático es uno de los mayores riesgos que enfrentan los mercados en el mundo (Global Risk Report 2025). Así, existen dos tipos principales de riesgos asociados al cambio climático: el riesgo de transición, que proviene de los cambios necesarios para adaptarse a una economía de baja emisión de carbono, tales como nuevas regulaciones, impuestos al carbono y avances tecnológicos; y el riesgo físico, que abarca los impactos directos de eventos climáticos extremos (riesgos agudos) y de cambios graduales en el clima (riesgos crónicos).

Los riesgos físicos y de transición pueden dañar infraestructuras y afectar la producción de las empresas, entre otros, derivando en pérdidas que podrían impactar negativamente al sistema financiero. En particular, en Chile existe actualmente un riesgo de transición relevante dado que es un país con un impuesto al carbono bajo en comparación con otros países del mundo. El impuesto al carbono en Chile asciende a USD 5 por tonelada de CO₂ emitida, mientras que el promedio mundial es de USD 40 (con un valor máximo observado de USD 167 en Uruguay).

Con el objetivo de estimar el efecto de una transición hacia una economía de bajas emisiones, se analiza el impacto en el sistema financiero de un posible aumento de los impuestos al carbono. Utilizando un modelo de probabilidad de incumplimiento para las empresas, se estima el efecto en el balance de las instituciones bancarias y, con ello, el impacto en los requerimientos de capital. Para ello, se consideran distintos posibles escenarios de alza de este impuesto basados en la evidencia internacional.

Nuestros resultados indican que existen efectos heterogéneos de la PD entre bancos e industrias. En particular, en algunos casos podría haber aumentos significativos de la PD ante nuevos impuestos, lo que produciría un deterioro más marcado en el portafolio de aquellos bancos más expuestos a firmas emisoras de carbono.

Dado que la literatura sobre los efectos del riesgo climático en el sistema financiero

aún es incipiente y que su cuantificación presenta importantes desafíos metodológicos, este estudio contribuye a dicha literatura al aportar evidencia empírica a nivel micro sobre cómo la transición hacia economías de baja emisión de carbono puede afectar variables prudenciales clave del sistema bancario.

En las siguientes secciones, primero recopilamos la literatura relevante para este estudio. En segundo lugar, describimos los datos utilizados en su desarrollo. A continuación, analizamos la exposición al riesgo de transición, incluida su dinámica. Posteriormente, presentamos la metodología empleada y, a continuación, los principales resultados. Finalmente, presentamos una revisión de discusión prudencial de este riesgo y exponemos las conclusiones del trabajo.

2. Literatura

La literatura sobre los efectos del riesgo climático en el mercado financiero es limitada y aún incipiente. [Belloni et al. \(2022\)](#) realizan una simulación de impacto para los bancos de la Unión Europea basada en una combinación de escenarios de cambios en el impuesto al carbono y de estrategias de adaptación de las firmas. Sus resultados principales son: (i) en promedio (mediana), un incremento del impuesto a la emisión de carbono de €200 produciría un incremento de las pérdidas del sistema bancario del 10% respecto al escenario base donde no se toma ninguna medida o estrategia de convergencia de emisiones; y (ii) estos efectos pueden ser considerables en aquellos bancos más expuestos a empresas afectadas por estos impuestos. De acuerdo con los autores, las pérdidas experimentadas por los bancos durante el COVID-19 equivalen a un impuesto de €150 por tonelada de CO₂ emitida, considerando que las firmas no tienen capacidad de reacción (cambio abrupto).

A nivel de modelos teóricos, [Bouveret et al. \(2025\)](#) analizan los efectos de un impuesto al carbono sobre variables tradicionales de riesgo, como la probabilidad de no pago y la

pérdida en caso de incumplimiento. La metodología considera firmas representativas de distintos sectores económicos y efectos de corto plazo. En general, los resultados que los autores encuentran son que los impuestos al carbono reducen los flujos de caja y, por ende, afectan el valor presente de las firmas, lo cual, a través de un modelo tipo Merton, se traduce en una mayor probabilidad de incumplimiento.

El [FMI \(2021\)](#), en el contexto del Financial Sector Assessment Program (FSAP), realizó una estimación de la afectación de los aumentos del impuesto al carbono en las PD de las firmas y en los impactos asociados en los bancos para Chile. A partir de las hojas de balance de las firmas y de sus emisiones, generaron un escenario de cola de USD 100 adicionales en impuestos por tonelada emitida. El estudio concluye que habría cierta evidencia de que los riesgos de transición podrían ser materiales para algunos bancos, pero no lo suficientemente grandes como para comprometer la solvencia o la estabilidad financiera. La magnitud del aumento de la PD sugiere que un cambio en la política de fijación de precios del carbono puede afectar de manera medible la calidad crediticia de las carteras corporativas y que los riesgos de transición podrían ser un factor importante en los resultados futuros de las pruebas de estrés. El aumento en las PD de las carteras corporativas ponderadas por la exposición de los segmentos varía entre 0,3 y 0,5 por ciento en un escenario a tres años, siendo las industrias de transporte, electricidad y gas, silvicultura y minería las que más contribuyen.

En otros estudios empíricos para Chile, destaca [González and Rojas \(2025\)](#), que analizan la exposición de la banca en 2022 tanto a riesgos físicos como a riesgos de transición. En términos de riesgos de transición, el enfoque solo considera información estática y la fracción de deuda expuesta a firmas que podrían verse afectadas por un aumento de impuestos. Entre los aportes de este estudio está que se miden la exposición tanto a riesgos de transición como a riesgos físicos, encontrando que algunos bancos llegan a estar significativamente expuestos a riesgos de transición.

Finalmente, en [Jung et al. \(2021\)](#) se analiza, para un conjunto de países de América Latina (Brasil, Colombia, Chile, Perú, México y Argentina), cómo los riesgos de transición pueden afectar sus requerimientos de capital. Específicamente, para cada institución financiera se mide el riesgo climático sistémico (CRISK), definido como la expectativa del déficit de capital de dicha institución en un escenario de estrés climático. También calculan el CRISK marginal, que es la diferencia entre el déficit de capital con y sin estrés para medir el efecto del estrés climático. En general, los autores estiman que los CRISK y los CRISK marginales son bajos para todos los bancos en Chile.

El presente estudio aporta a esta línea de investigación mediante la estimación de un modelo empírico de PD a partir de información histórica administrativa. Con dicho modelo, es posible simular el efecto de un aumento impositivo sobre el nivel de riesgo de la cartera y, de este modo, estimar tanto el riesgo esperado (con impacto en provisiones) como el no esperado (con impacto en capital) de una materialización de este riesgo de transición en los bancos locales.

3. Datos

Para el logro de los objetivos del estudio, se utilizan las siguientes fuentes de información:

- **Información de emisiones contaminantes:** Se utiliza el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) que es un catálogo o base de datos publicada por el Ministerio de Medio Ambiente, destinada a capturar, recopilar, sistematizar, conservar, analizar y difundir la información sobre emisiones, residuos y transferencias de contaminantes potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente que son emitidos al entorno, generados por actividades industriales o no industriales y transferidos para su valorización o eliminación. Esta base de datos permite obtener, para cada deudor, su nivel anual de emisiones de CO₂.

- **Información financiera:** Se utiliza la información administrativa de la CMF para estimar el incumplimiento de los deudores de crédito, así como los factores de riesgo asociados al modelo de PD. Además, es posible obtener información financiera de las empresas, lo que permite simular el impacto en diversos escenarios de aumento del impuesto al carbono.
- **Información sobre escenarios de cambio en impuestos:** Para definir los cambios en impuestos al carbono, utilizamos como referencia los escenarios que la Red de Bancos Centrales y Supervisores para Enverdecer el Sistema Financiero (NGFS, por sus siglas en inglés) utiliza y proporciona.

4. Exposición al riesgo de transición de aumento al impuesto al carbono

En primer lugar, y antes de evaluar el impacto de los escenarios impositivos, se analiza la exposición al riesgo de transición correspondiente al tipo de riesgo que se está considerando. Para ello, se construyen dos medidas de exposición para cada banco.

La primera medida, mostrada en la ecuación (1), corresponde a una exposición que refleja la proporción de la cartera del banco b en el período t destinada a firmas i con deuda en ese banco y emisiones de CO₂. En esta ecuación, $L_{b,i,t}$ representa la deuda vigente de la firma i con el banco b en el período t , y $\mathbf{1}\{\cdot\}$ es una función indicadora que toma el valor 1 si la firma registra emisiones positivas de CO₂ en t , y 0 en caso contrario.

$$\text{Exposición en emisión}_{(b,t)} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{b,i,t} \cdot \mathbf{1}\{\text{Emisiones}_{i,t} > 0\}}{\sum_{i=1}^n L_{b,i,t}} \quad (1)$$

La segunda medida, presentada en la ecuación (2), captura la “intensidad” de las emisiones de la cartera, considerando el nivel absoluto de emisiones de las firmas deu-

doras:

$$\text{Intensidad en emisi3n en los pr3stamos}_{(b,t)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Emisiones}_{i,t}}{\sum_{i=1}^n L_{b,i,t}} \quad (2)$$

En esta expresi3n, $\text{Emisiones}_{i,t}$ indica las toneladas de CO_2 emitidas por la firma i en el per3odo t que tiene deuda vigente con el banco b .

La Figura 1 panel A muestra que la exposici3n, como porcentaje de la deuda comercial, ha estado relativamente estable en los 3ltimos 9 a3os, con una leve tendencia al alza. Por otro lado, en t3rminos de huella de carbono por peso de deuda prestado, se observa en el panel B que cada peso de deuda disminuye su huella desde 2017.

Lo anterior sugiere que la menor huella no parece estar relacionada con una menor exposici3n de la banca a estas empresas, sino con que estas empresas estar3an reduciendo sus emisiones. Lo anterior se grafica en la Figura 2 que muestra la distribuci3n de emisiones anuales y donde se observa una disminuci3n en la distribuci3n de emisiones de las empresas con deuda bancaria.

Un aspecto relevante es si el panel de empresas se mantiene constante para cada banco durante el per3odo observado, dado que podr3an haber salido de las carteras las firmas m3s contaminantes y haber ingresado otras con menores emisiones. La mediana del cambio porcentual en las emisiones de las empresas con deuda, tanto en 2012 como en 2022, es de -39% , lo que refleja una reducci3n general en las emisiones entre las firmas que permanecen en el sistema. Asimismo, la mediana de emisiones de las firmas que ten3an deuda en 2012 pero no en 2022 es de 340 toneladas de CO_2 , mientras que la de aquellas que adquirieron deuda en 2022 pero no la ten3an en 2012 es de 37 toneladas de CO_2 . Estos resultados indican que, tanto entre las empresas que mantienen deuda como en los flujos de entrada y salida de firmas, las emisiones tienden a ser m3s bajas, evidenciando una disminuci3n general en la intensidad de carbono de la cartera bancaria.

Respecto a la caracterizaci3n del tama3o y de los riesgos de las compa3as emisoras que forman parte del registro RETC, la Tabla 1 muestra un contraste. Las empresas

emisoras del registro se caracterizan por representar: (i) un bajo número de empresas, pero de alto nivel de deuda, que representa el 22% de la cartera comercial total; y (ii) en promedio, presentan una mejor calidad crediticia (87% en categoría A, frente a un 77% de las empresas no emisoras).

En términos de riesgo, son empresas que podrían resistir mejor los shocks financieros (en general, tienen una mejor calidad crediticia). No obstante, su afectación implicaría un deterioro de las firmas que justamente disminuyen el riesgo agregado de la cartera de los bancos.

5. Metodología de la estimación de impacto

Para la simulación del efecto en las firmas de un aumento del impuesto al carbono, se asume que este shock se materializa en el balance de las empresas deudoras mediante una pérdida patrimonial asociada a mayores gastos permanentes por este concepto. Luego, dicho efecto se traduce en un mayor riesgo de incumplimiento, lo que se refleja en mayores provisiones y una disminución de los niveles de capital de las instituciones bancarias en Chile.

5.1. Estimación del efecto impositivo en la probabilidad de incumplimiento

Definimos p_i como la probabilidad de incumplimiento (PD) del deudor i con $i = 1, \dots, N$. Esta probabilidad la estimamos mediante la siguiente ecuación que es generalizable para cualquier periodo de tiempo t :

$$p_i = f(x_{i,j}), \quad x_{i,j} \in \mathbb{R}^M \text{ un vector de } M \text{ características donde } j=1, \dots, M.$$

Entre ellas, hay una característica h que definimos como:

$$x_{i,h} = \frac{C_i}{P_i}$$

Donde C_i es el flujo de cuotas mensuales que paga el deudor y P_i es el patrimonio de la empresa.

Sea t_c el incremento de impuestos del emisor en el escenario c . Con ello, definimos la variable afectada por los mayores impuestos como:

$$x_{i,h|c} = \frac{C_i}{P_i - TONS_i \cdot t_c \cdot \gamma}$$

Donde $TONS_i$ corresponde a las toneladas anuales de CO₂ emitidas por la firma i y t_c es el aumento del impuesto al carbono en dólares. Para efectos de la simulación, se asume que el impuesto se paga de manera íntegra en un único período dentro del año, lo que constituye un supuesto conservador consistente con un escenario de estrés.

Para efectos de este ejercicio, los resultados principales se evalúan con $\gamma = 1$, lo que indica que todo el shock es equivalente a mayores gastos o pérdidas por parte de las firmas. Este factor, no obstante, también lo evaluamos para valores de 0,25 y 0,5 para analizar cómo serían los impactos ante transmisiones del shock atenuadas, por ejemplo, mediante medidas que las firmas puedan adoptar para mitigar este shock (cambios tecnológicos, transmisión a precios, entre otras posibilidades).

Por otro lado, definimos el cambio en la probabilidad de incumplimiento por el mayor impuesto como:

$$\Delta p_{i,c} = f(x_{i,j|c}) - f(x_{i,j})$$

Es decir, para cada firma estimamos su PD actual y su PD simulada, y la diferencia entre ambas PD representa el canal de riesgo de crédito asociado al riesgo de transición estudiado.

Vale la pena mencionar que la Pérdida dada el Incumplimiento (LGD, por sus siglas

en inglés) podría verse afectada también por el shock, considerando que una fábrica o industria que tiene bajas posibilidades de conversión productiva podría valer menos post impuesto, afectando el nivel de colateral. En el presente estudio, nos centraremos en el impacto sobre la PD y no en la LGD. En cualquier caso, vale la pena mencionar que el sesgo es a la baja en capital, dado que esperamos que exista una pérdida por LGD que no estamos considerando.

5.2. Derivación del cambio en Indicador de Adecuación de Capital (IAC)

Una vez obtenida la variación en PD de cada firma, en esta sección se desarrolla la metodología que permite traducir el mayor riesgo de los deudores en los niveles de solvencia de los bancos. Para ello, en primera instancia, se calcula el mayor gasto en provisiones en el que deben incurrir las instituciones bancarias debido a la mayor PD de sus deudores, lo que reduce directamente el capital básico de las entidades. En segundo lugar, el mayor nivel de riesgo se traduce en incrementos en los requerimientos de capital debido a mayores pérdidas inesperadas. Como resultado, ambos elementos afectan el índice de adecuación de capital (IAC) de cada banco, y el cambio en esta métrica respecto al valor actual constituye el nivel de afectación estimado. La variación del indicador refleja el consumo total de capital derivado de la materialización del riesgo evaluado.

Así, una vez ya definido $\Delta p_{i,c}$ se puede obtener el mayor gasto en provisiones (PROV) en que debe incurrir cada banco mediante la siguiente expresión:

$$\Delta \text{PROV}_c = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \text{PDI}(i) \cdot \Delta p_{i,c}$$

Donde $\text{PDI}(i)$ es la pérdida dada el incumplimiento de cada firma, la cual se asume constante, y w_i representa la participación relativa del monto de la deuda de cada deudor

i en la deuda total asociada al banco b .

Por otro lado, se puede estimar el cambio en el consumo o en el requerimiento de capital a partir de la variación de los activos ponderados por riesgo (APR). Para ello, se estima el requerimiento de capital mínimo (RCM) de cada deudor en función de sus parámetros de riesgo PD y LGD, usando los parámetros actuales y los afectados por el mayor gasto impositivo, mediante la siguiente expresión, donde el 12,5 proviene del inverso del requerimiento de 8 % del capital sobre los APR:

$$\Delta APR_c = 12,5 \cdot \sum_{i=1}^N w_i \cdot (\text{RCM}(\text{PDI}(i), p_{i,c}) - \text{RCM}(\text{PDI}(i), p_i))$$

Los RCM tanto para el caso de $\text{PDI}(i), p_{i,c}$ y $\text{PDI}(i), p_i$ se estiman en base a la función de metodologías internas que proponen los estándares de Basilea.

Luego, con el mayor gasto en provisiones y variación de los APR, se estima el cambio en IAC mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta IAC_c = \frac{\text{Capital} - \Delta \text{PROV}_c}{\text{APR} + \Delta \text{APR}_c - \Delta \text{PROV}_c} - \text{IAC}$$

En el caso del numerador de la ecuación previa, una mayor provisión conlleva una pérdida que disminuye el patrimonio. En relación con el denominador, también debe aplicarse este descuento, ya que los APR se miden netos de provisiones.

Este ΔIAC_c puede entenderse como el consumo total de capital derivado del riesgo evaluado en este documento.

5.3. Calibración del modelo de PD

La PD se modela en base a una regresión logística a nivel firma y banco en el periodo 2016m1-2022m12¹. Así, la PD se puede estimar con la ecuación:

$$\text{Default}_{i,b,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{Mora Banco}_{i,b,t} + \beta_2 \text{Mora Sistema}_{i,t} + \beta_3 \text{Ln}(\text{Activos})_{i,t} + \beta_4 \left(\frac{\text{Cuota}}{\text{PAT}} \right)_{i,t} + \epsilon_i \quad (3)$$

Donde la variable dependiente $\text{Default}_{i,b,t}$ toma el valor 1 si la firma presenta un incumplimiento superior a 90 días en un horizonte de 12 meses. $\text{Mora Banco}_{i,b,t}$ corresponde a la mora del deudor en el mes de observación contabilizada en días. $\text{Mora Sistema}_{i,t}$ es una variable binaria que toma valor 1 cuando el deudor muestra una mora mayor a 30 días en el sistema financiero² y $\text{Ln}(\text{Activos})_{i,t}$ es el logaritmo natural de los activos de la empresa. Finalmente, $\left(\frac{\text{Cuota}}{\text{PAT}} \right)_{i,t}$ es la variable de interés y corresponde al ratio entre el flujo de cuotas que el deudor debe pagar en el mes y su patrimonio.

La Tabla 2 muestra los coeficientes de la regresión anterior. Observamos que la PD aumenta al aumentar las variables de riesgo, así como la variable de apalancamiento asociada a las cuotas. A su vez, su valor disminuye a medida que aumenta el tamaño de la empresa. Finalmente, el modelo anterior logra un AUROC³ del 80%. Este valor no difiere significativamente del obtenido con especificaciones que incorporan más variables o con modelos más sofisticados, como LightGBM.

¹Consideramos como parte de la muestra de entrenamiento el periodo enero 2016 a marzo 2020. Lo anterior, considerando que, con COVID, las empresas recibieron aportes estatales que disminuyeron las PD. Luego, para tener una muestra más representativa del riesgo de las firmas, nos quedamos con una ventana de tiempo previa a COVID

² $\text{Mora Banco}_{i,b,t}$ y $\text{Mora Sistema}_{i,t}$ estarán correlacionadas en lo que respecta al mismo banco, no obstante, dado que Mora Sistema esta a nivel agregado agregara información al modelo que es ortogonal a la variable Mora Banco .

³El AUROC (Área Bajo la Curva ROC) es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de un modelo de clasificación, que mide su capacidad para discriminar correctamente entre las clases positiva y negativa.

5.4. Escenarios de cambios de impuestos considerados

Para definir el grado de afectación en las métricas de los deudores y, posteriormente, en el balance de los bancos, es necesario estimar o determinar qué escenarios de impuestos se usarán para el shock impositivo.

Asumimos para esto, en primer lugar, que cualquier cambio en los niveles de impuestos son abruptos, permanentes y no esperados. Esto implica que las firmas no alcanzan a mitigar los efectos, ya que no son capaces de ajustar su función de producción, por lo que esto se traduce directamente en una mayor PD y en una disminución de los niveles de capital de los bancos.

Respecto a los escenarios, tomamos como referencia los de NGFS. En particular, para mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2 °C, las trayectorias de los impuestos al carbono oscilan entre USD 200 y USD 800 por tonelada en 2050. Considerando el nivel actual de impuestos en Chile sobre la materia y que la estimación es de corto plazo, evaluamos los siguientes escenarios de nuevos valores de impuestos al carbono: USD 25, 50, 100 y 200 por tonelada de CO₂ emitida. Descartamos valores superiores a USD 200 en esta simulación, dado que el nivel de impuestos en Chile es más bajo que en los países donde se emplean escenarios de mayor nivel potencial de impuestos.

6. Resultados

A continuación se muestran los efectos en la PD y los cambios en el nivel de capital de los bancos, según los modelos y escenarios planteados. Para ello, primero se utiliza el modelo de PD sobre las empresas presentes en la base RETC para determinar la magnitud del cambio en PD. Con estos resultados, se define el cambio en el nivel de capital del banco.

En la cuantificación se usan las camadas de empresas RETC de 2016 a 2022, ambos periodos inclusive, mientras que los cambios en el nivel de capital se computan a nivel consolidado global del sistema financiero.

6.1. Impactos en la PD a nivel de sector económico

Lo primero que analizamos son los impactos en la PD a nivel de los sectores económicos derivados de la introducción de escenarios de impuestos al carbono. La Tabla 3 presenta información sobre los sectores económicos más relevantes de la base RETC. Estos son manufactura, comercio, finanzas, electricidad y construcción. En cuanto al monto y al número de empresas, los sectores más grandes son manufactura, con un tamaño del 21,8% en monto de créditos y del 30,3% en número de empresas, seguidos por los sectores de comercio, financiero y electricidad.

Los escenarios de impuestos al carbono son los definidos anteriormente. En estos se observa que la variación promedio de la PD aumenta con la magnitud del impuesto. En todos los sectores se observan incrementos de la PD a medida que aumenta el impuesto al carbono, salvo el sector financiero, cuya PD sólo varía en el escenario de mayor impuesto. Por otro lado, el sector económico con mayor aumento en PD es electricidad, lo que es consistente con el hecho de ser un sector intensivo en emisiones⁴.

6.2. Resultados agregados a nivel bancario

Dados los resultados anteriores, ahora vemos, a nivel de sistema, los impactos en PD e IAC. La Figura 3 muestra el impacto promedio en PD y en el capital del sistema, con un intervalo de confianza (CI) del 95%. Se observa que la PD de las empresas RETC aumenta de forma casi lineal con la imposición de nuevos impuestos al carbono.

⁴Electricidad como muestra la tabla 3 concentra el 36,6% de las emisiones de toneladas de CO₂ y tiene una intensidad de emisiones por deuda de 10,9 y por patrimonio de 0,49, que son las mayores en términos relativos a otros sectores económicos.

Además, la varianza del resultado tiende a aumentar a medida que aumenta el cambio en el impuesto. Ocurre una situación similar con los niveles de capital. Para observar efectos relevantes en PD superiores a 50 pb, el aumento de impuestos debe superar los USD 100. Por el lado del capital, en un escenario extremo, el IAC disminuye tan solo en 4 pb en promedio.

La Tabla 4 muestra los resultados específicos para los escenarios de impuestos. Se observa que la PD de las empresas RETC aumenta en promedio entre 26 pb para el escenario de USD 25 y 100 pb para el de USD 200. En el lado de capital, la adecuación disminuye en 1 pb en el primer escenario y sólo en 6 pb en el caso del impuesto más elevado. Finalmente, se obtiene que las pérdidas adicionales que el sistema bancario en su conjunto debe cubrir se ubican en USD 218 millones, de las cuales un 84 % proviene de mayores pérdidas esperadas (provisiones) y un 16 % de mayores pérdidas inesperadas.

Con el fin de evaluar escenarios alternativos de impacto, considerando medidas mitigadoras que las firmas puedan adoptar, tales como cambios acelerados en las formas de producción, estimamos también escenarios atenuados de afectación en las hojas de balance. En particular, cuando solo el 50 % del efecto llega al estado de resultados, es decir, $\gamma = 0,5$, los resultados muestran afectaciones similares para un cambio de impuestos de USD 25, mientras que para cambios de USD 200 la diferencia parece proporcional a la caída de γ . Por otro lado, cuando el efecto es solo de una cuarta parte del total, es decir, $\gamma = 0,25$, los resultados muestran nuevamente impactos similares cuando el delta impositivo es de USD 25, pero más acotados (cerca de un cuarto del impacto) cuando el shock es de USD 200. Es decir, observamos que, para un rango acotado de mayores impuestos, el shock será similar para todas las firmas y no variará sustancialmente según su magnitud. No obstante, sí hay efectos significativos y distintos cuando el delta de impuestos es elevado y cercano a USD 200. Esto confirma la no linealidad de los impactos de los impuestos al carbono sobre las variables de estudio y la relevancia de medir estos

escenarios alternativos para simular su afectación.

6.3. Análisis por institución

Finalmente, estudiamos los efectos heterogéneos en PD e IAC a nivel de las instituciones financieras para evaluar casos extremos de afectación. La Figura 4 muestra los resultados del impacto a nivel de instituciones, considerando un impacto completo del impuesto al carbono, es decir, $\gamma = 1$. En el caso de la PD, el incremento se concentra entre 0 pb y 30 pb cuando el aumento impositivo es de USD 25. En la medida en que el aumento de impuestos es mayor, hay una mayor dispersión de los resultados. Hasta USD 100, dos bancos presentan valores fuera de lo habitual, con aumentos en PD que bordean los 100 pb. En el caso del IAC, el comportamiento es similar. Los impactos tienden a ser más dispersos cuando el escenario de impuestos se intensifica. Destaca un banco del sistema que tiene impactos en torno a los 8 pb en capital, incluso en los escenarios más bajos.

Así, los resultados dan cuenta de realidades heterogéneas. En particular, el impacto final en el capital depende de la concentración de la cartera de crédito en firmas emisoras de carbono o del nivel de emisiones del portafolio subyacente de créditos.

Utilizando el escenario planteado en el FSAP para Chile (2021), encontramos que un aumento del precio del carbono de USD 100 por tonelada genera un incremento promedio de 44 pb en la PD de las empresas del RETC. Para obtener métricas comparables con los resultados del FSAP, es necesario traducir este impacto a la cartera total de créditos. Considerando que las empresas con emisiones representan el 22 % de la cartera corporativa y que esta última corresponde al 53 % de la cartera total de créditos, el efecto estimado se traduciría en un aumento de $44 \times 0,22 \times 0,53 \approx 5$ pb en la PD de la cartera total. Este resultado corresponde a un incremento relativo de aproximadamente 1,2 %, similar al resultado más conservador del ejercicio del FSAP, aunque existen diferencias

metodológicas entre ambos estudios.

7. Discusión prudencial

Amplia evidencia muestra que los riesgos financieros derivados del clima afectarán en gran medida a los sistemas financieros, incluida la banca. En esta línea, los reguladores y supervisores a nivel mundial se encuentran dando los primeros pasos para establecer lineamientos que exijan a las entidades financieras la gestión de este riesgo.

Por ejemplo, el Banco Central Europeo ([ECB \(2024\)](#)) señaló explícitamente que los modelos internos deben incluir factores climáticos si estos fueran relevantes para la determinación del riesgo de sus exposiciones. De manera similar, el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (BCBS, por sus siglas en inglés) ha desarrollado lineamientos para la gestión y supervisión de riesgos relacionados con el clima ([BCBS \(2022\)](#)).

En 2021, el BCBS concluyó que los factores de riesgo climático pueden capturarse en las categorías tradicionales de riesgo financiero. Por esa razón, los bancos deberían considerar cómo incorporar los riesgos financieros relacionados con el clima en su interpretación y aplicación del marco regulatorio actual, y desarrollar continuamente su capacidad y experiencia en relación con dichos riesgos. Ahora bien, los requerimientos de capital actuales se han calibrado con base en datos históricos y, por lo tanto, podrían estar subestimando la probabilidad de ocurrencia de los riesgos físicos y de transición descritos en este artículo. Sin embargo, el marco de capital debe usarse para gestionar los efectos y no los orígenes de los riesgos por el cambio climático ([PRA \(2021\)](#)).

En atención a lo anterior, los reguladores y supervisores a nivel global se encuentran investigando diversos elementos para determinar cómo abordar los riesgos derivados del cambio climático. Respecto a cómo incorporar estos riesgos en la gestión, existe, en general, amplio consenso de que el riesgo por cambio climático se materializaría en las actuales categorías: crédito, mercado y operacional. La Autoridad Bancaria Europea

(EBA por sus siglas en inglés), ECB y la Autoridad de Regulación Prudencial (PRA, por sus siglas en inglés) ya han generado pautas sobre cómo los bancos deben gestionar este riesgo. En particular, se espera que las instituciones empiecen a incluir en su gestión, tanto de riesgos como de negocios, a los potenciales efectos del cambio climático (EBA (2022); ECB (2020); PRA (2021)).

Respecto a qué elementos actuales del marco regulatorio actual modificar para incluir los efectos del riesgo por cambio climático, la problemática se puede abordar desde diversas perspectivas. Primero, ¿se deben ajustar elementos del Pilar 1, tales como la temporalidad asociada? En general, a mayor plazo, mayor incertidumbre del desarrollo de los eventos y, por lo tanto, más complejo es cuantificar. Sin embargo, la materialización de los riesgos asociados al cambio climático sería de largo plazo, por lo que la lógica de considerar sólo un año, como se hace hoy, podría ser insuficiente para el cómputo de pérdidas. Por ahora, algunos reguladores han optado por no modificar el plazo de análisis PRA (2023)).

Si los riesgos del cambio climático no se abordan en el pilar 1, surge la discusión sobre si estos deben considerarse en el Pilar 2 regulatorio (P2R) o en el Pilar 2 Guidance (P2G). La diferencia entre ambos radica en que el P2R es un requisito mínimo de capital, mientras que el P2G es más bien una sugerencia que hace el supervisor al fiscalizado y podría entenderse como un colchón por encima del mínimo de requisitos de capital que le permitiría al banco soportar escenarios de estrés.

En relación con el Pilar 2, la inclusión del riesgo climático en el P2R presenta los mismos desafíos que la inclusión en el Pilar 1 por construcción. Considerando que los ejercicios de estrés tienen un horizonte de planificación más extenso (3-5 años), parecen ser el lugar adecuado para incluir los efectos de mediano plazo del cambio climático y, por ello, su inclusión podría estar mejor vinculada al P2G o al objetivo interno de capital. No obstante, lo anterior implica un esfuerzo no menor en la caracterización de

los escenarios de tensión que deben analizarse ([ECB \(2022\)](#)).

También se ha estudiado la posibilidad de ajustar el conjunto de herramientas macroprudenciales del marco regulatorio. Cabe tener presente que el desarrollo de herramientas macroprudenciales tiene como objetivo contener riesgos sistémicos que no podrían estar contemplados en los demás elementos del marco de capital. No obstante, mientras no exista evidencia clara de que los riesgos por el cambio climático no se han considerado en los demás elementos del marco regulatorio, imponer algún cargo macroprudencial podría acarrear efectos indeseables ([Finance \(2022\)](#)).

Finalmente, e independientemente de los elementos regulatorios que se decidan ajustar, aún existen brechas de información relevante, considerando que los datos históricos no serían el mejor reflejo de las consecuencias del cambio climático, así como de las metodologías y la investigación asociadas. Este artículo contribuye a la discusión sobre este último elemento.

8. Conclusiones

El presente trabajo simula posibles consecuencias prudenciales en la banca ante la materialización de un riesgo de transición, como un aumento de los impuestos al carbono aplicados a las empresas que emiten CO₂. En un escenario de cambio del impuesto en USD 200, se estiman pérdidas adicionales de cerca de USD 200 millones a nivel de banca, tanto por aumento de provisiones (PD mayor) como por un mayor requerimiento de capital mínimo.

Nuestra estimación considera las limitaciones inherentes a los modelos de equilibrio parcial. Primero, considera que las firmas no tienen capacidad de adaptación y que el cambio es súbito. Una limitación adicional del presente enfoque es que no se incorporan efectos de red (como en [Belloni et al. \(2022\)](#)). Por otro lado, es posible que existan beneficios para algunas firmas, por ejemplo, aquellas con menor emisión, que se verían

favorecidas (disminuyendo su PD), por lo que, en términos de equilibrio general, los impactos pueden ser menores.

Es necesario destacar que existen efectos esperados de segundo orden sobre los bancos cuando sus niveles de capital se debilitan debido a este tipo de medidas. Por ejemplo, podría haber transmisión aumentando las tasas de interés que cobran al mercado del crédito “verde”, lo cual escapa al alcance del presente estudio, pero sería relevante considerar en un análisis integral de impacto. Por otro lado, los aumentos de los impuestos al carbono en las empresas tienen efectos no solo en esas empresas, sino también en otras de sus cadenas de suministro. Esto podría implicar efectos sistémicos mayores de los estimados. También puede ocurrir que los riesgos derivados del cambio climático afecten a otros actores del sistema financiero, como las compañías de seguros.

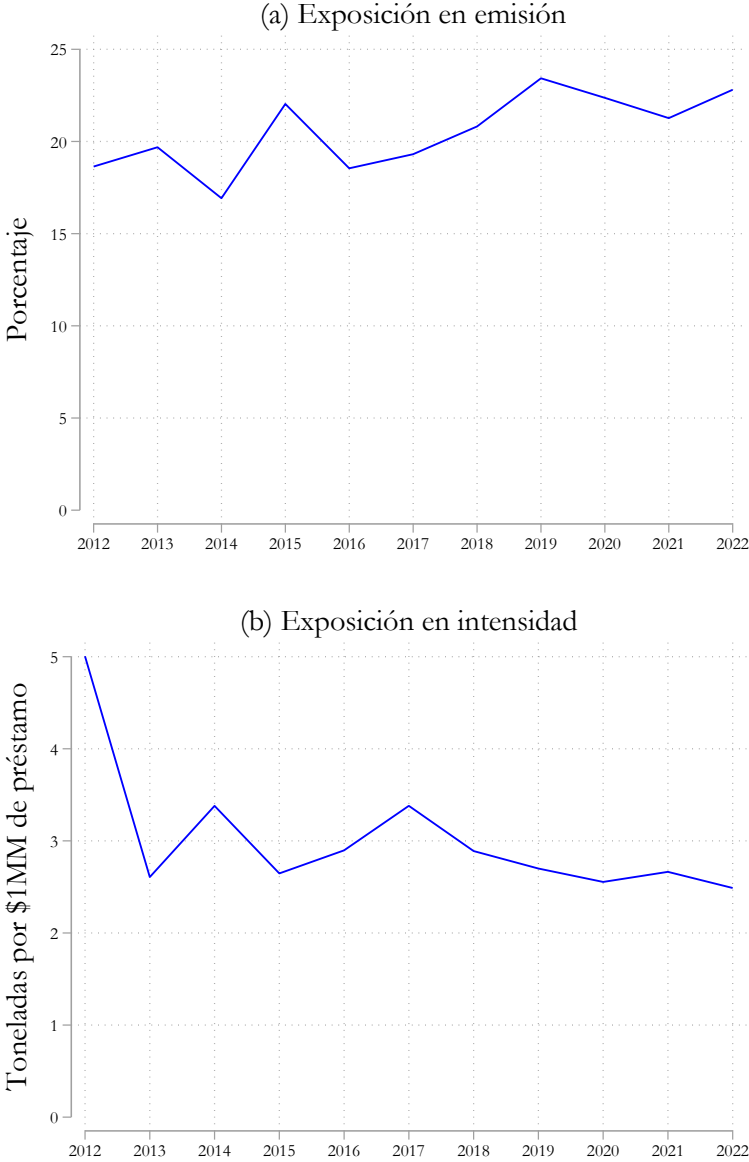
Este estudio ofrece una primera evidencia de los efectos de una transición a una economía libre de emisiones, sugiriendo que los bancos deberían incluir en su gestión las posibles consecuencias del riesgo asociado al cambio climático. Si bien el marco regulatorio actual aún no se ha adaptado para recoger explícitamente este elemento, la discusión pareciera indicar que impactos como los estudiados en este artículo deberían incorporarse en los elementos de planificación interna de capital que las entidades financieras deben realizar.

Referencias

- BCBS, “Principles for the effective management and supervision of climate-related financial risks,” 2022.
- Belloni, Marco, Friderike Kuik, and Luca Mingarelli, *Euro Area banks’ sensitivity to changes in carbon price* number 2654, ECB Working Paper, 2022.
- Bouveret, Géraldine, Jean-François Chassagneux, Smail Ibbou, Antoine J Jacquier, and Lionel Sogouï, “Propagation of a carbon price in a credit portfolio through macroeconomic factors,” *SIAM Journal on Financial Mathematics*, 2025, 16 (2), 545–605.
- EBA, “The Role of Environmental Risks in the Prudential Framework,” 2022.
- ECB, “Guide on climate-related and environmental risks. Supervisory expectations relating to risk management and disclosure,” 2020.
- , “2022 climate risk stress test,” 2022.
- , “ECB guide to internal models,” 2024.
- Faiella, Ivan, Luciano Lavecchia, Alessandro Mistretta, and Valentina Michelangeli, “A micro-founded climate stress test on the financial vulnerability of italian households and firms,” *Bank of Italy Occasional Paper*, 2021, (639).
- Finance, UK, “Integrating climate risk into the prudential capital framework,” *UK Finance*, 2022, pp. 2022–10.
- FMI, “Chile: Financial System Stability Assessment,” Technical Report, International Monetary Fund, Washington, D.C. December 2021.
- González, Luis and Cristian Rojas, “Exposición de la Banca en Chile a los Riesgos Financieros relacionados al Clima: Riesgos Físicos y de Transición,” Technical Report, Central Bank of Chile 2025.
- Jung, Hyeyoon, Robert F Engle, and Richard B Berner, “Climate stress testing,” Technical Report, Staff Reports 2021.
- PRA, “Climate-related financial risk management and the role of capital requirements,” *Climate Change Adaptation Report*, 2021, 28.
- , “Bank of England report on climate-related risks and the regulatory capital frameworks,” 2023.

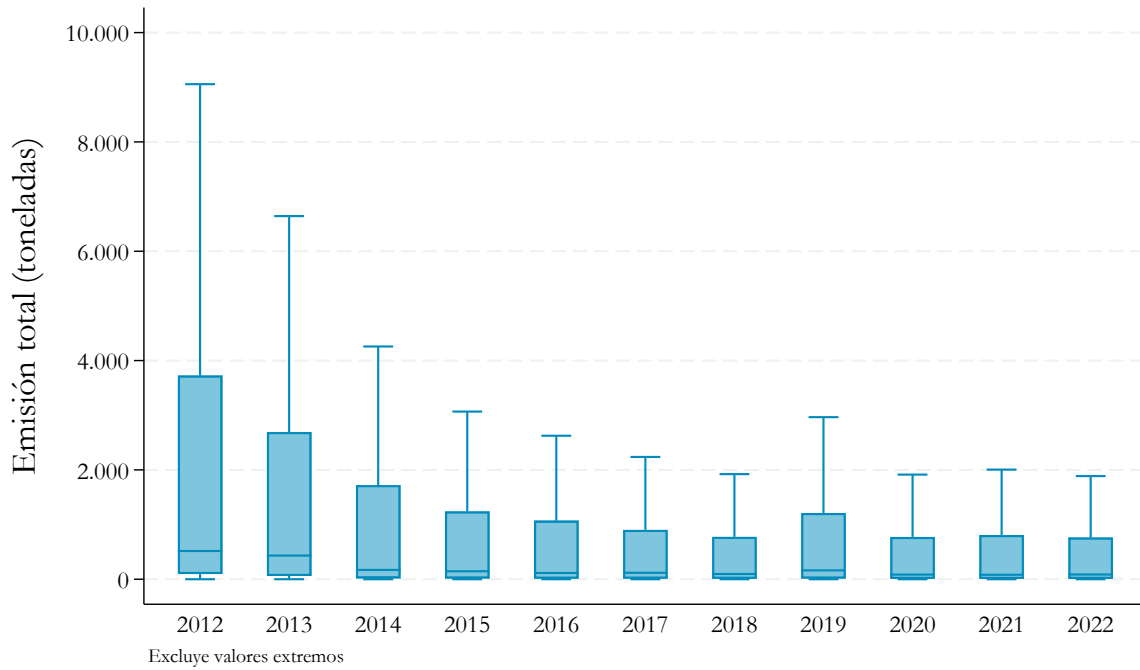
Figuras

Figura 1: Evolución medidas de exposición a nivel sistema bancario



Note: Este gráfico muestra la evolución de dos medidas de exposición a emisiones a nivel de banco. La exposición en emisión se mide como la proporción de préstamos a firmas con emisiones positivas de CO₂, mientras que la exposición en intensidad corresponde a las emisiones totales de CO₂ de las firmas deudoras sobre el total de préstamos.

Figura 2: Evolución emisión firmas con deuda bancaria por año



Note: La figura muestra a nivel de firmas con deuda bancaria a cada año, la distribución de las emisiones de toneladas de CO₂ para todo el periodo 2012-2022

Figura 3: Impactos en PD y capital para el sistema

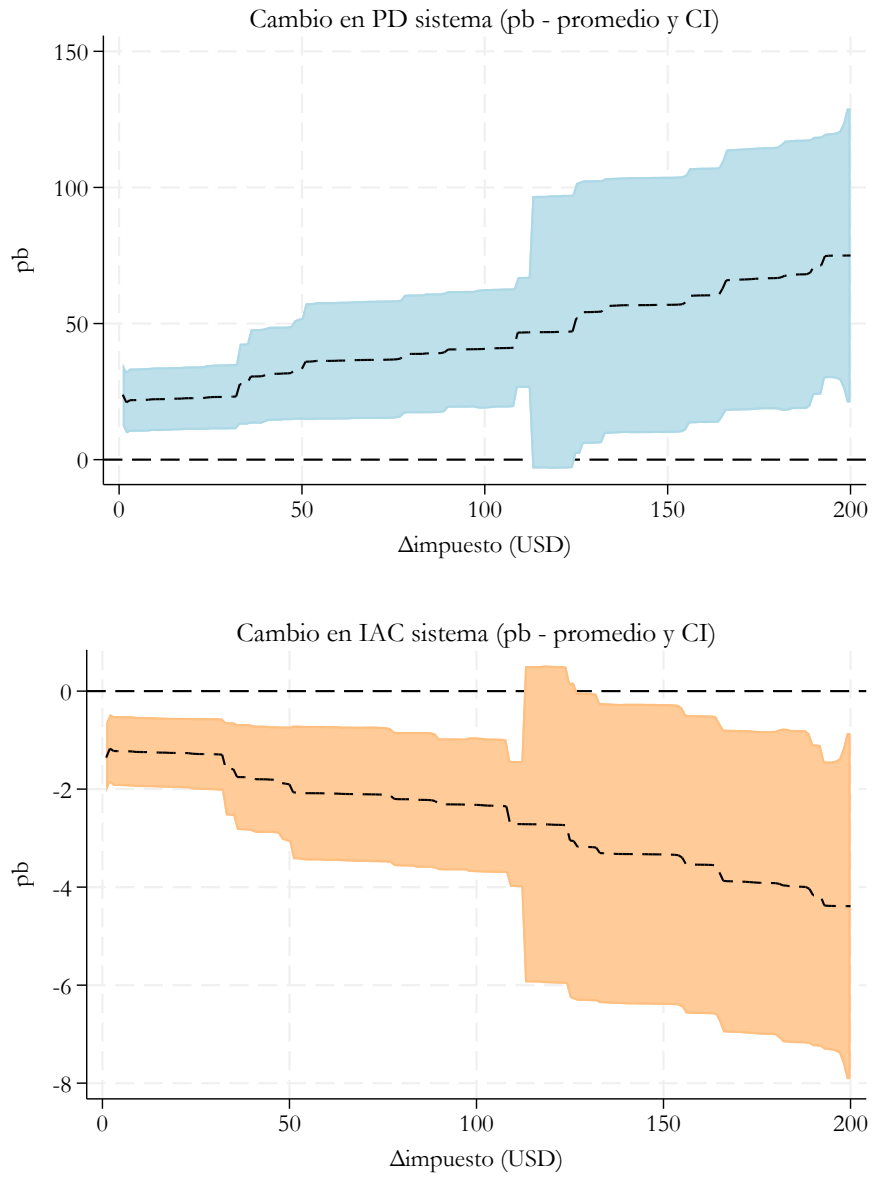
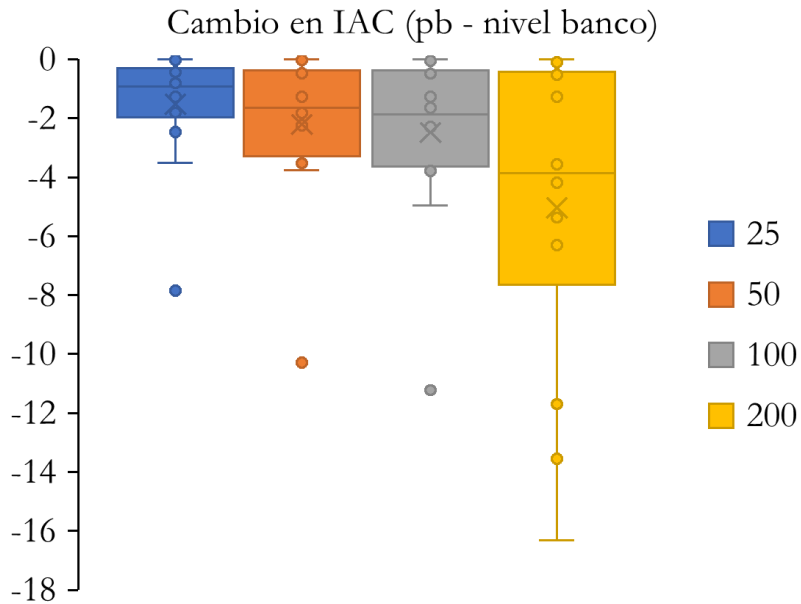
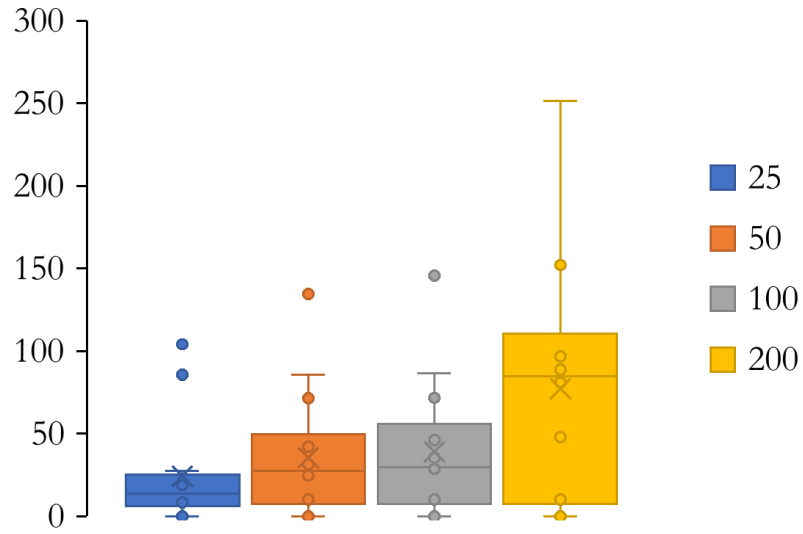


Figura 4: Impactos en PD y capital para el sistema
 Cambio en PD (pb - nivel banco)



Note: Gráficos a nivel de banco. Cada punto representa un banco. Los cambios en PD e IAC son a nivel de cada simulación de aumento de impuestos al carbono: USD 25, 50, 100 y 200 por tonelada de CO₂.

Tablas

Tabla 1: Estadísticas firmas que emiten, diciembre de 2022

	Sin emisión	Con emisión de CO ₂ reportada
Número de firmas	253.721	2.047
Participación (suma horizontal: 100 %)	99 %	1 %
Deuda total (millones de MM CLP)	83	24
Participación (suma horizontal: 100 %)	78 %	22 %
Deuda promedio (MMCLP)	328	12.092
Deuda mediana (MMCLP)	8	884
Emisión total (CO ₂ mm)	No aplica	61
Intensidad (CO ₂ mm ton/Deuda MM de MMCLP)	No aplica	2,5
Distribución interna de clasificaciones de riesgo: (suma vertical: 100 %)		
Clasificación Grupal	224.730 (89 %)	338 (17 %)
Clasificación Individual	28.991 (11 %)	1.710 (83 %)
Distribución de Clasificación Individual: (suma vertical: 100 %)		
Grupo A	22.508 (78 %)	1.488 (87 %)
Grupo B	4.266 (15 %)	189 (11 %)
Grupo C	2.217 (8 %)	33 (2 %)
Probabilidad de Incumplimiento	11 %	2 %

Nota: Se muestra en la tabla el total de firmas con deuda comercial a diciembre de 2022, diferenciando si estas tienen o no emisiones registradas en RETC. Para cada grupo se muestra una serie de descriptores financieros y de riesgo. MM: Equivale a millones.

Tabla 2: Modelo de PD, coeficientes y significancia

	(1)
Intercepto	1.150*** (0.019)
Mora banco	0.057*** (0.0004)
Mora sistema	1.687*** (0.011)
Ln(Activos)	-0.093*** (0.001)
$\frac{\text{Cuota}}{\text{PAT}}$	0.636*** (0.018)
AUROC	79,6 %
AUROC (GBM)	80,8 %

Nota: En esta regresión, la variable dependiente Default_i toma el valor 1 si la firma presenta un incumplimiento superior a 90 días en un horizonte de 12 meses hacia adelante. $\text{Mora Banco}_{i,b,t}$ corresponde a la mora del deudor en el mes de observación contabilizada en días. $\text{Mora Sistema}_{i,t}$ es una variable binaria que toma valor 1 cuando el deudor muestra una mora mayor a 30 días en el sistema y $\text{Ln(Activos)}_{i,t}$ es el logaritmo natural de los activos de la empresa. Finalmente, $\left(\frac{\text{Cuota}}{\text{PAT}}\right)_{i,t}$ es la variable de interés y corresponde al ratio entre el flujo de cuotas que el deudor debe pagar en el mes y su patrimonio. Significancia denotada por *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

Tabla 3: Impactos en PD según distintos sectores económicos para escenarios de cambios en impuestos para 2022

Indicador / Sector económico	Manufactura	Comercio	Financiera	Electricidad	Construcción	Resto	Total
Número de empresas	620	232	36	89	80	990	2.047
Participación (suma horizontal=100 %)	30,3 %	11,3 %	1,8 %	4,3 %	3,9 %	48,4 %	100 %
Deuda total (millones de MM CLP)	5,3	3,1	2,4	2,1	2,3	9,1	24
Participación (suma horizontal=100 %)	21,8 %	12,7 %	9,9 %	8,4 %	9,6 %	37,5 %	100 %
Patrimonio total (millones de MM CLP)	99	25	13	45	9	238	430
Participación (suma horizontal=100 %)	23,1 %	5,9 %	3,0 %	10,6 %	2,2 %	55,3 %	100 %
Emisión total (CO ₂ mm)	33,1	0,5	0,05	22,3	0,02	4,9	60,9
Participación (suma horizontal=100 %)	54,3 %	0,8 %	0,1 %	36,6 %	0,04 %	8,1 %	100 %
<hr/>							
Emisiones sobre deuda total (CO ₂ MM sobre \$ MM de MM)	6,2	0,2	0,02	10,9	0,01	0,5	2,5
Emisiones sobre patrimonio total (CO ₂ MM sobre \$ MM de MM)	0,33	0,02	0,004	0,49	0,003	0,02	0,14
<hr/>							
Promedio ΔPD (pb)							
ΔImpuesto USD 25	108	124	0	142	24	131	121
ΔImpuesto USD 50	148	147	0	210	24	137	147
ΔImpuesto USD 100	208	184	0	268	24	150	179
ΔImpuesto USD 200	281	203	28	450	25	175	240
<hr/>							
Probabilidad de Incumplimiento antes del cambio en impuestos	2,85 %	2,93 %	3,36 %	2,66 %	2,46 %	2,35 %	2,48 %
<hr/>							

Nota: La tabla reporta estadísticas por sector económico para firmas con deuda bancaria en 2022 y emisión de CO₂. La deuda y el patrimonio se expresan en billones de pesos, mientras que las emisiones corresponden a millones de toneladas de CO₂. ΔPD indica el cambio promedio en la probabilidad de incumplimiento (en puntos base) ante aumentos del impuesto al carbono de USD 25, 50, 100 y 200 por tonelada de CO₂.

Tabla 4: Impactos a nivel de sistema para diferentes escenarios de impuestos y afectación de estos en el patrimonio de las firmas, promedios 2017-2022

Indicador / Δ Impuesto (USD)	25	50	100	200
PD inicial (pb)		210		
Si $\gamma = 1$				
Promedio Δ PD (pb)	26	37	44	100
Promedio Δ IAC (pb)	-1	-2	-3	-6
Pérdida esperada (USD MM)	44	65	76	183
Pérdida inesperada (USD MM)	8	12	14	35
Pérdida total (USD MM)	53	78	91	218
Pérdida total (% de Activos totales)	0,014 %	0,020 %	0,024 %	0,059 %
Si $\gamma = 0,5$				
Promedio Δ PD (pb)	25	26	37	44
Promedio Δ IAC (pb)	-1	-1	-2	-3
Pérdida esperada (USD MM)	43	44	65	76
Pérdida inesperada (USD MM)	8	8	12	14
Pérdida total (USD MM)	51	53	78	91
Pérdida total (% de Activos totales)	0,014 %	0,014 %	0,020 %	0,024 %
Si $\gamma = 0,25$				
Promedio Δ PD (pb)	25	25	26	37
Promedio Δ IAC (pb)	-1	-1	-1	-2
Pérdida esperada (USD MM)	43	43	44	65
Pérdida inesperada (USD MM)	8	8	8	12
Pérdida total (USD MM)	51	51	53	78
Pérdida total (% de Activos totales)	0,013 %	0,014 %	0,014 %	0,020 %

Nota: Se presentan tres escenarios de afectación a nivel de firmas de este mayor gasto. La primera parte de la tabla muestra los resultados cuando $\gamma = 1$. Esto quiere decir que la firma absorbe un 100 % de este mayor impuesto como gastos en el estado de resultados y, por consiguiente, en el patrimonio. Los siguientes paneles moderan el impacto considerando solo que la mitad de este gasto se transmite a estado de resultados ($\gamma = 0,5$) y cuando solo un cuarto del efecto se va a estado de resultados ($\gamma = 0,25$).



Regulador y Supervisor Financiero de Chile

www.cmfchile.cl

