



# Papeles de Energía

Nº26

Septiembre 2024

**The interdependencies of Canadian financial institutions:  
An application to climate transition shocks**

Gabriel Bruneau, Javier Ojea-Ferreiro, Andrew Plummer,  
Marie-Christine Tremblay and Aidan Witts

**La política medioambiental y el comportamiento  
de la industria: el caso de Irlanda**

Marta Alvaro-Taus y John Curtis

**El impacto socioeconómico local de las energías renovables  
en España: un análisis entre escalas y tiempos**

Jorge Bielsa Callau, Ignacio Cazarro y Guillermo  
Rodríguez-López

# Papeles de Energía

## EDITOR

Pedro Linares

## CONSEJO EDITORIAL

Claudio Aranzadi, Pablo Arocena, Laura Díaz Anadón,  
Gonzalo Escribano, M.<sup>a</sup> Paz Espinosa, Natalia Fabra,  
Dolores Furió, Tomás Gómez San Román,  
Xavier Labandeira, Juan Luis López Cardenete,  
Mariano Marzo, Carlos Ocaña, Ignacio Pérez Arriaga,  
Desiderio Romero, Gonzalo Sáenz de Miera, Antonio Soria.

**Papeles de Energía** no se solidariza necesariamente con las opiniones, juicios y previsiones expresadas por los autores de los artículos incluidos en la publicación, ni avala los datos que estos, bajo su responsabilidad, aportan.

## Edita: Funcas

Caballero de Gracia, 28. 28013 Madrid

Diseño y maquetación: **Funcas**

Impresión: **Cecabank**

ISSN impreso: 2530-0148

ISSN digital: 2445-2726

Depósito Legal: M-7537-2016

© Funcas

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, *offset* o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita del editor.

## PATRONATO

**Isidro Fainé Casas** (Presidente)

**José María Méndez Álvarez-Cedrón** (Vicepresidente)

**Fernando Conlledo Lantero** (Secretario)

**Antón Joseba Arriola Boneta**

**Manuel Azuaga Moreno**

**Carlos Egea Krauel**

**Miguel Ángel Escotet Álvarez**

**Amado Franco Lahoz**

**Pedro Antonio Merino García**

**Antonio Pulido Gutiérrez**

**Victorio Valle Sánchez**



# Índice

- 3** **Introducción: Artículos seleccionados del XIX Congreso anual de la Asociación Española para la Economía Energética**
- 7** **The interdependencies of Canadian financial institutions: An application to climate transition shocks**  
Gabriel Bruneau, Javier Ojea-Ferreiro, Andrew Plummer,  
Marie-Christine Tremblay and Aidan Witts
- 43** **La política medioambiental y el comportamiento de la industria: el caso de Irlanda**  
Marta Alvaro-Taus y John Curtis
- 63** **El impacto socioeconómico local de las energías renovables en España: un análisis entre escalas y tiempos**  
Jorge Bielsa Callau, Ignacio Cazarro y Guillermo Rodríguez-López



# INTRODUCCIÓN

## Artículos seleccionados del XIX Congreso anual de la Asociación Española para la Economía Energética

Como todos los años desde 2020, en *Papeles de Energía* queremos reflejar el estado de la investigación en economía de la energía en España. Para ello, y en colaboración una vez más con la Asociación Española para la Economía Energética, premiamos los tres trabajos presentados en el congreso anual de la Asociación que mejor contribuyen a difundir entre la sociedad temas de investigación de calidad en materia de transición energética.

La Asociación Española para la Economía Energética (AEEE), fundada en 2004, es la filial española de la Asociación Internacional de la Economía de la Energía (International Association for Energy Economics). Está constituida por un grupo de profesionales del mundo académico, empresarial y de la administración que consideran que la ciencia económica tiene mucho que aportar al enfoque y solución de los problemas energéticos.

Su objetivo, coincidente en gran medida con el de esta revista, es generar debates económicos, poner en común a profesiones de la economía de la energía, y divulgar conocimientos en el campo de la economía de la energía. Y para ello se realizan diferentes actividades: un congreso académico anual, un mapa de investigadores, un boletín de revistas y de socios, así como jornadas técnicas sobre cuestiones de especial relevancia para el modelo energético.

Los trabajos presentados en este número fueron seleccionados en el XIX Congreso de la AEEE, celebrado en Granada en junio de 2024. Desde *Papeles de Energía*, una vez más, queremos agradecer a la AEEE su entusiasmo en esta colaboración, y a todos los autores que se presentaron a la convocatoria, su interés por la misma. Este año, en particular, es reseñable el hecho de que dos de los tres artículos premiados han sido realizados mediante la colaboración de

investigadores españoles con instituciones internacionales, lo que da prueba de la creciente internalización de nuestros investigadores y sus ámbitos de actuación.

Un primer ejemplo es el trabajo “La interdependencia de las instituciones financieras canadienses: una aplicación a los *shocks* de transición climática”, elaborado por **Gabriel Bruneau, Javier Ojea-Ferreiro, Andrew Plummer, Marie-Christine Tremblay** y **Aidan Witts**, todos ellos del Banco de Canadá. Su trabajo analiza el impacto de los riesgos de transición climática (tratados ya en el n.º 16 de la revista, en febrero de 2022) sobre el sistema financiero canadiense: entidades de depósito, sector de seguros de vida, fondos de inversión, y fondos de pensiones.

Para ello combinan el análisis de escenarios con un modelo basado en agentes, que captura los efectos tanto directos como indirectos, por ejemplo analizando cómo el deterioro del crédito y de los derivados puede dar lugar a problemas de liquidez a través de canales de crédito intersectoriales. Los autores parten de un análisis en el que evalúan, para cada sector, los cambios en cuatro componentes: costes de emisiones, costes indirectos, inversiones e ingresos. A continuación traducen estos cambios en medidas de riesgo de crédito, de mercado y de liquidez. Posteriormente, estudian la transmisión de estos riesgos entre los distintos agentes financieros.

Una conclusión de gran interés es que un escenario de transición climática diferida crea impactos directos relativamente modestos, por la baja exposición del sistema canadiense a los sectores negativamente afectados; sin embargo, las interconexiones entre sectores hacen que este efecto se amplifique, sobre todo vía fondos de inversión. Los fondos de pensiones o el sector de seguros de vida, en cambio, gracias a su política de inversión a largo plazo, pueden mitigar los efectos al invertir en activos infravalorados.

El segundo ejemplo de la internacionalización de los investigadores españoles es el trabajo de **Marta Alvaro-Taus** y **John Curtis**, del Economic and Social Research Institute de Irlanda. Su investigación analiza el efecto en Irlanda de la normativa europea para regular las emisiones industriales. Esta normativa exige que las instalaciones industriales cuenten con licencias de operación basadas en

límites de emisiones, tratamiento de vertidos, y otras medidas de protección ambiental. En Irlanda, la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) es la responsable de otorgar las licencias, y de asegurar su cumplimiento. Para lo segundo realiza inspecciones periódicas, que se priorizan para aquellas instalaciones con mayor riesgo para la salud o el medio ambiente, o para las que cuenten con un mayor historial de infracciones.

Los autores se preguntan por el posible impacto de la frecuencia de la supervisión en el comportamiento de las plantas industriales, y si se confirma la literatura científica según la cual la frecuencia de las inspecciones y la magnitud de las sanciones tienen un efecto significativo en la reducción del incumplimiento de las normas y de los impactos ambientales. Así, formulan un modelo de regresión que relaciona las infracciones con las inspecciones (retardadas, para evitar endogeneidad).

El estudio encuentra que las inspecciones contribuyen significativamente a mejorar el comportamiento de las instalaciones industriales: el riesgo de infracción es un 20 % inferior. Sin embargo, en caso de infracción, las instalaciones tardan tiempo en poder volver a cumplir con la normativa. Además, según los autores, la adopción de incentivos dinámicos es fundamental para mejorar la efectividad de la actividad supervisora, y por tanto Europa debería continuar reforzando la implantación de estas medidas.

Finalmente, el artículo de **Jorge Bielsa Callau, Ignacio Cazcarro y Guillermo Rodríguez-López**, de la Universidad de Zaragoza, estudia una cuestión de gran actualidad, y fundamental para lograr un despliegue renovable significativo: El impacto socioeconómico local de las energías renovables en España, algo esencial para mejorar su aceptación (véase el número 20 de esta revista, de febrero de 2023). En particular, los autores examinan los impactos para la energía eólica, usando diferentes escalas geográficas y temporales.

El artículo presenta una recopilación de estudios previos, tanto propios como de otras publicaciones, de los efectos de despliegues eólicos en términos de empleo y renta, y de sus implicaciones para el desarrollo rural. La herramienta fundamental de análisis es el modelo *input-output* multirregional (MRIO). Los

autores evalúan los impactos a nivel agregado para España, pasando luego a detallar los efectos sobre Aragón, y a nivel comarcal para Matarraña y Campo de Belchite, ambos en Aragón.

La revisión de los estudios muestra que, aunque los beneficios globales son significativos, las comunidades locales en áreas rurales no siempre reciben una parte que justifique los costes que soportan. Especialmente en el caso de la energía eólica, los efectos positivos en la fase de construcción son limitados, y así los empleos generados se limitan a 0,68 por cada millón de euros invertidos (que se pueden contrastar con algo más de 18 empleos por millón de euros a nivel regional). Los autores defienden que son necesarias políticas más inclusivas para las comunidades rurales, como la participación local en los proyectos, o el desarrollo de modelos de copropiedad o mecanismos de compensación.

Agradeciendo de nuevo a todos los autores su participación, animo a los lectores a que profundicen en estos análisis tan relevantes para el diseño de la transición energética en España.



# The interdependencies of Canadian financial institutions: An application to climate transition shocks

*Gabriel Bruneau, Javier Ojea-Ferreiro, Andrew Plummer, Marie-Christine Tremblay and Aidan Witts\**

## Abstract\*\*

We develop a methodological framework, combining scenario analysis and agent-based model, that captures the direct effects of a stressful climate transition shock as well as the indirect –or systemic– implications of these direct effects. We apply this framework using data from the Canadian financial system. To capture the direct effects, we leverage the climate transition scenarios and financial risk assessment methods developed for the Bank of Canada and the Office of the Superintendent of Financial Institutions climate scenario analysis pilot project. We examine the direct effects –in the form of credit, market and liquidity risks– of the climate transition shock on financial system entities within the scope of our study. Specifically, we look at the public and private assets and derivatives portfolios of deposit-taking institutions, life insurance companies, pension funds and investment funds. To assess the indirect effects from the potential spread of the climate transition shock across an interconnected financial system, we extend an agent-based model

---

\* Financial Stability Department, Bank of Canada. Bank of Canada staff working papers provide a forum for staff to publish work-in-progress research independently from the Bank's Governing Council. This research may support or challenge prevailing policy orthodoxy. Therefore, the views expressed in this paper are solely those of the authors and may differ from official Bank of Canada views. No responsibility for them should be attributed to the Bank. ([bankofcanada.ca](https://www.bankofcanada.ca); [GBruneau@bankofcanada.ca](mailto:GBruneau@bankofcanada.ca); [JOjeaFerreiro@bankofcanada.ca](mailto:JOjeaFerreiro@bankofcanada.ca); [APlummer@bankofcanada.ca](mailto:APlummer@bankofcanada.ca); [MTremblay@bankofcanada.ca](mailto:MTremblay@bankofcanada.ca); [AWitts@bankofcanada.ca](mailto:AWitts@bankofcanada.ca)).

\*\* We thank Thibaut Duprey, Ruben Hipp and Miguel Molico for their helpful comments and discussion. We also thank Grzegorz Hałaj for his support and guidance in earlier phases of this work. We are grateful to Alper Odabasioglu for his generous support, expert advice and comments. We truly appreciate the valuable support from Michele Sura and Monique Ménard. We also extend our thanks to Adam Su, Miguel Jutras, Shamanth Chedde and James Younker for their assistance in the treatment of the different data sources. Finally, we thank several organizations for voluntarily sharing their data and for the insightful discussions, including the Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des marchés financiers; Financial Services Regulatory Authority of Ontario; Air Canada Pension Master Trust Fund; Alberta

to explore shock transmission channels such as cross-holding positions, business similarities, common exposures and fire sales. This model considers rules and behavioural assumptions, allowing us to understand the interconnectedness of the financial system. This work strengthens our understanding of how distinct entities within the financial system could be impacted by and respond to climate transition risks and opportunities, and of the potential channels through which those risks and opportunities may spread. More generally, this work contributes to building standardized systemic risk assessment and monitoring tools.

Keywords: Climate change; financial stability; financial institutions; financial markets; economic models.

## 1. INTRODUCTION

The financial system is inherently vulnerable to systemic risks, due to factors such as interconnectedness, agency problems causing asymmetric information, and feedback mechanisms like fire sales and herd behavior. To prevent system-wide breakdown, regulatory authorities prioritize building a resilient financial sector. Analytical tools that identify shocks and risk sources are crucial in this endeavor. By assessing how individual issues could propagate during period of financial stress, policymakers can proactively adjust prudential instruments to ensure stability.

---

Investment Management Corporation (AIMCo); British Columbia Investment Management Corporation (BCI); CAAT Pension Plan; Canada Post Corporation Registered Pension Plan; CPP Investments; Caisse de Dépôt et placement du Québec (CDPQ); Desjardins Sécurité Financière, compagnie d'assurance-vie; Fédération des Caisses Desjardins du Québec; Healthcare of Ontario Pension Plan; iA Groupe financier/iA Financial Group; Investment Management Corporation of Ontario; OMERS Administration Corporation; OPSEU Pension Plan Trust Fund (OPTrust); Ontario Teachers' Pension Plan (OTPP); Public Sector Pension Investment Board (PSP Investments); Suncor Energy Pension Plan; TD Bank Group; and University Pension Plan (UPP). We would also like to thank seminar participants at Oxford Climate Econometrics Seminar and at the Spanish National Securities Market Commission (CNMV), and participants at the 2024 Latin American Journal of Central Banking (LAJCB) conference, the XIX conference of the Spanish association for Energy Economics (AEEE), the 2024 Annual Meeting of the Commodity and Energy Markets Association (CEMA), the 58<sup>th</sup> Annual Meetings of the Canadian Economics Association (CEA), the Agent-Based Modelling for Policy (ABM4Policy) workshop organized by Bank of England, and the 2024 Annual Meeting of the Société Canadienne de Science Économique (SCSE). Previous versions of this work have benefited from discussions within the FSB and IMF groups of which the Bank is a member.

This paper introduces a model that captures system-wide amplifications of shocks to market, credit, and liquidity risks across various financial sectors and entities. The model describes shock propagation from a system-wide perspective in a financial network comprising deposit-taking institutions, life insurance companies, investment funds, and pension funds. Each participant's role in the model can either exacerbate or mitigate the direct effects of shocks, depending on their business model, exposure to shocks, and interconnections with other market participants. Our framework's contagion process accounts for credit deterioration and varying fire sale sensitivities based on asset types. It also incorporates intersectoral lending, cross-holding effects through equities and funds' participations, and the liquidity effects of derivatives. We apply our model to assess the Canadian financial system's response to a delayed 2 °C climate transition scenario.

Our research makes contributions to the field of financial stability and systemic risk in several ways. We build upon Hałaj's (2018) model and analysis by incorporating life insurance companies and pension funds and examining the role of margin calls. We explore how derivatives and credit deterioration can trigger to liquidity issues, exacerbating overall liquidity conditions through intersectoral lending channels. To our knowledge, no prior study has investigated the role of derivatives, intersectoral lending linkages, and credit deterioration in the pension fund sector. While other researchers like Cont *et al.* (2020) have analyzed the linkages between liquidity and solvency in the banking sector, these aspects are not considered in Hałaj's (2020) application of his 2018 framework using Canadian data. Furthermore, we assess fire sales contagion by examining the impacts of sales pressure on asset prices and computing sensitivities based on quantile regression (see Fukker *et al.*, 2022).

We also trace contagion between institutions, building contagion indicators based on network analysis (see Bardoscia *et al.*, 2021). Our investigation delves into the role of pension funds within in the financial system, a topic that has not been extensively explored in the literature. For instance, Douglas and Roberts-Sklar (2018) examine the behavior of defined benefit pension funds in the UK, while Bédard-Pagé *et al.* (2021) describe the behavior of Canadian pension funds during the COVID crisis. Our study addresses these potential

liquidity issues into account and incorporates insights from discussions with Canadian pension funds' asset managers, focusing on climate transition.

Additionally, we contribute to the literature on the effects of climate transition on the financial system by applying our methodological framework to assess the spread of climate transition risk in the Canadian financial system. This analysis leverages climate transition risks scenarios from the Bank of Canada-Office of the Superintendent of Financial Institutions (OSFI) pilot project, supervisory data from the Office of the Superintendent of Financial Institutions (OSFI) and l'Autorité des Marchés Financiers(AMF), third-party data from LSEG Lipper, and bilateral agreements with several pension funds and asset managers of pension funds. Notably, this is the first system-wide climate transition risk analysis using Canadian data. Previous studies, such as Roncoroni *et al.* (2021), have used Mexican financial system data to analyze climate transition transmission within banking and investment funds sectors, while others like Gourdel and Sydow (2023) and Battiston *et al.* (2017) have focused on the EU financial system.

Our findings illustrate how a delayed climate transition scenario transmits through the Canadian financial system, revealing modest direct impacts. This partly reflects the limited exposure of Canadian financial entities to sectors negatively impacted by the transition, as well as the exposure of some financial entities to sectors positively impacted by the transition. However, the interconnections identified in our study play a significant role in spreading the impacts of climate transition risk. Key transmission channels include common exposures, fire sales, and cross-holding positions. Investment funds are the primary contributors to shock propagation due to their procyclical behavior and susceptibility to redemption shocks. In contrast, pension funds, with their long-term investment horizons and stable contributor base, may mitigate contagion effects by capitalizing on undervalued assets.

The rest of the paper is structured as follows. In Section 2, we present the model. Section 3 outline the datasets employed to conduct the analysis, and present the results, and Section 4 draws conclusions.

## 2. METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO ASSESS SYSTEMIC RISKS

The methodological framework we develop combines two analytical tools. We use scenario analysis to capture the direct effects of climate transition shocks on individual financial entities, and we use agent-based modelling to examine the indirect, or systemic, effects of these shocks. We describe both of these methods below.

Although the shock modeled in this analysis is a climate transition risk, our agent-based model is general enough to be initialized by other types of macroeconomic and/or financial shocks, to study a wide range of systemic risk.

### 2.1. Examining direct effects on financial system entities through scenario analysis

Because of its forward-looking nature and inherent uncertainty about future events, climate transition risk is difficult to assess using standard methodologies that rely on historical data. This difficulty is compounded by further uncertainty about how policy, technology and socioeconomic factors might evolve. In this context, scenario analysis serves as a flexible “what if” tool that is useful for exploring potential risks and opportunities under various possible futures. The scenarios are neither forecasts nor intended to be comprehensive but instead serve as plausible pathways designed to achieve specific climate targets.<sup>1</sup>

#### 2.1.1. Leveraging the Bank of Canada’s climate transition scenarios

Figure 1 shows the steps taken to capture the direct effects of a climate transition shock on distinct types of financial system entities through scenario analysis.

We leverage the set of global climate transition scenarios developed for the Bank of Canada and OSFI climate scenario analysis pilot project. The scenarios

---

<sup>1</sup> Many financial authorities around the world have adopted scenario analysis to support their analysis of the macroeconomic and financial impacts of climate change. See [Network for Greening the Financial System \(2021\)](#).

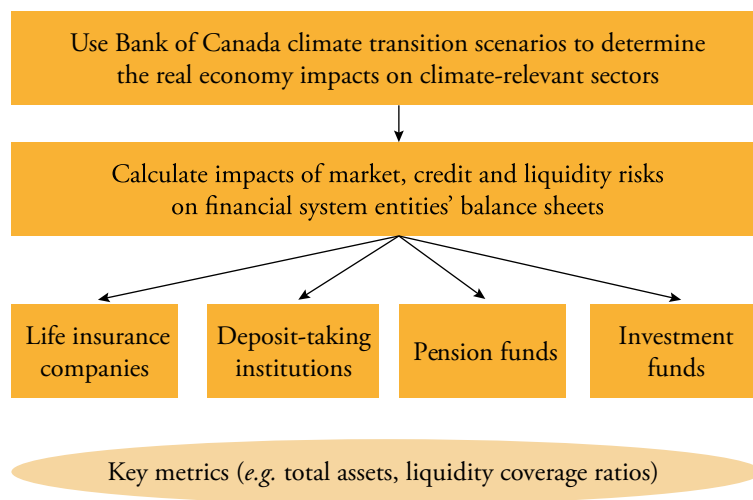
cover many geographical regions of the world. The scenarios were intentionally designed to be adverse but plausible, capturing situations that have the potential to be stressful to the Canadian economy and the financial system. These are the two climate transition scenarios we leveraged in this analysis:<sup>2</sup>

- baseline (2019 policies)—a baseline scenario consistent with global climate policies in place at the end of 2019
- below 2 °C delayed—a delayed policy action toward limiting average global warming to below 2 °C, which is the most severe climate transition scenarios analyzed by the Bank of Canada in its pilot project.

We also adopt the pilot project’s climate-relevant sectors. These are sectors that are likely to be most affected, either negatively or positively, by the transition pathways. Some broad sectors, such as oil and gas, electricity, energy-intensive industries, and commercial transportation, were broken down into smaller

Figure 1

### Translating scenario analysis outputs into financial risk metrics



<sup>2</sup> For more information on the four Bank of Canada climate transition scenarios and a list of regions covered, see [Bank of Canada and OSFI \(2022\)](#) and Chen *et al.* (2022).

groups because the transition may play out differently for those sub-sectors.<sup>3</sup> This provided sectoral groupings that are largely homogeneous in terms of climate transition exposures.

The scenarios were then used to define *sectoral risk factor pathways (RFPs)*, reflecting changes in four components affecting a sector's net income that may be impacted by the transition: direct emissions costs, indirect costs, capital expenditures and revenues.<sup>4</sup> The cumulative effect of changes in these different components illustrates how a sector can be affected by the transition, including the financial distress that it may encounter.<sup>5</sup>

### 2.1.2. Translating scenario outputs into financial risk metrics

We also leverage the pilot project's risk assessment methods to translate the scenario outputs into measures of credit and market risk. In the pilot project, the *credit risk assessment method* combined top-down and bottom-up assessments. A borrower-level impact assessment exercise using the scenarios' sectoral financial impacts (the RFPs discussed above) was conducted in the pilot project's bottom-up assessment. In the top-down assessment, the impacts from the bottom-up assessment were extrapolated to portfolio segments with similar transition risk exposures. Leveraging these assessments, the pilot project estimated a climate transition–credit risk relationship using a Merton-style model. For each sector-region pair, the model mapped scenario RFPs and heat map sensitivities into changes in probability of default. Then a Frye–Jacobs relationship was used to assess loss given default based on the probabilities

---

3 For the list of climate-relevant sectors and a mapping to the most widely used industrial classification, see [Bank of Canada and OSFI \(2022\)](#).

4 For example, direct emissions costs for a sector may increase due to the sector's efforts to reduce greenhouse gas emissions. Indirect costs faced by a sector are those that are passed on from other sectors upstream. Capital expenditures, in turn, may rise with investment in new technologies. And the climate transition could lead to changes in consumer preferences, which may result in decreased demand and lower revenues for some firms.

5 In the context of the Bank–OSFI pilot project, the risk assessments focused on Canada and the United States since these two countries accounted for most of the assets of the pilot participants. Considering the larger scope of financial institutions in our study, we extend these risk assessments to all regions covered by the climate transition scenarios.

of default. Finally, the credit risk was assessed through expected credit losses, which was based on projected probabilities of default, loss given default and exposures at default.<sup>6</sup>

The market risk assessment method used a top-down approach. Climate transition scenario impacts on equity valuations for each sector-region pair were determined based on a discounted dividend model.<sup>7</sup> Sectoral dividends were calculated from projected income along the transition paths, considering a given capital share of value added and a dividend rate. Also, for tractability, global climate policy commitments were assumed to be upheld and incorporated into equity valuations immediately at the time of the policy announcement, implying a discrete change in valuations at the time of the policy change. Economic agents were assumed to have foresight over a 10 year rolling window of climate policy, with the policy remaining constant from that point on. This implies a gradual adjustment in equity valuations following the discrete jump driven by the change in global policy climate pathways.<sup>8</sup>

Including liquidity risk is key in understanding systemic risk. The *liquidity risk assessment method* is another extension of the pilot project's methods. Consistent with the goals of this study, the inclusion of a liquidity risk channel can inform us of the difficulties entities may face in meeting their short-term financial obligations. This could be due to an inability to convert their assets into cash

---

6 The credit risk assessment method follows the methodology described in United Nations Environment Programme Finance Initiative (UNEP-FI), Oliver Wyman and Mercer, "[Extending Our Horizons—Assessing credit risk and opportunity in a changing climate: Outputs of a working group of 16 banks piloting the TCFD Recommendations](#)," (April 2018). In the pilot project, participating financial institutions were asked to select a minimum of five representative borrowers per sector in their portfolios. This choice balanced the benefits of higher precision in the estimated climate transition–credit risk relationship and the cost of the assessments for the financial institutions. For more details on the methodological steps taken in the pilot's credit risk assessment, see Hosseini *et al.* (2022) and Bank of Canada and OSFI (2022).

7 Region-sector equity index values were estimated by discounting computed annual dividend flows within a 50 year, forward-looking window for each of the three climate transition scenarios from 2020 to 2100.

8 Dividends were discounted using Morgan Stanley Capital International's average historical returns. See Hosseini *et al.* (2022) and Bank of Canada and OSFI (2022) for more details on the market risk assessment approach.



without incurring a substantial loss. Specifically, we examine the liquidity held by financial system entities before the climate transition shock and their liquidity needs after the shock.<sup>9</sup>

The liquidity held by a given entity is determined by weighting its asset positions by a Basel III-based liquidity factor.<sup>10</sup> We calculate liquidity measures for deposit-taking institutions, open-ended mutual funds (for investment fund entities) and pension funds. We assume that the cash flow on the liquidity coverage ratio framework for deposit-taking institutions follows the run-off rate from OSFI and the Autorité des Marchés Financiers (AMF) net cumulative cash flow returns. For open-ended mutual funds, we use historical data to estimate the expected cash outflows through redemptions. Finally, while pension funds have predictable outflows to pay their beneficiaries, they face relatively less-predictable liquidity constraints from their derivative positions.<sup>11</sup> Because of this, increased liquidity needs for derivatives positions are captured by a volatility-based measure (Standard Portfolio Analysis of Risk, or SPAN) for equity-related derivatives and a Monte Carlo simulation for debt-related derivatives.

In our model, institutions face market, credit, and liquidity shocks. Market shocks reduce asset values and equity, impacting solvency ratios. If an asset suffering a market loss has a positive liquidity weight ratio, it can also affect liquidity ratios. Credit shocks, driven by default risk, further impact solvency ratios through the decrease of equity and a potential increase of risk weighted assets. Additionally, credit deterioration may render an asset no longer high-

---

9 In cases of liquidity distress, the banking sector considers eligible or cash-equivalent assets. These assets can be used to gather sufficient liquidity to address constraints. If we denote the eligible assets as a set  $\varepsilon \in N$ , the bank has adequate liquidity if the following inequality holds:

$$\sum_{n \in \varepsilon} (1 - h_n) a_n^i \geq \Lambda^i$$

Here,  $h_n$  represents the haircut associated with asset  $n$ . Banks may access repo contracts to cover funding outflows, impacting their profits and losses. Following Hałaj (2020), we set the repo cost at 25 basis points (bps), and apply an extra haircut to repoed securities, affecting the solvency ratio denominator. Similarly, asset managers of investment funds and pension funds may utilize cash-equivalent or High Quality Liquid Assets (HQLA) to gather liquidity without affecting market prices.

10 See Bank for International Settlements (2013).

11 See Bédard-Pagé *et al.* (2021).

quality, affecting liquidity ratios. Finally, liquidity shocks—such as redemption shocks—can decrease the liquidity ratio.

Finally, as shown in Figure 1, our analysis centers on two types of key metrics for assessing market participants' actions: solvency ratio and liquidity ratio. Pension funds and investment funds prioritize liquidity ratio, while life insurance companies focus on solvency ratio. The banking sector takes both liquidity and solvency ratios into account.<sup>12</sup>

## 2.2. Examining systemic effects using agent-based modelling

Agent-based modelling is a computational approach in which heterogeneous agents interact in accordance with given decision rules (*e.g.*, behavioural, regulatory) and where the spread of the shock depends on the linkages across the agents in the system. Agent-based models (ABMs) can thereby provide rich analytical insights about the systemic implications of a given shock. Indeed, both entity-specific details (like risk profiles and portfolio characteristics) and commonalities and financial linkages across entities are core features of the financial system that can be modelled through an ABM. Notably, this approach is useful to model adverse conditions, such as in the case of a sharp adjustment of asset valuations due to a stressful climate transition shock.<sup>13</sup>

### 2.2.1. Extending Hałaj's (2018) agent-based model

The ABM we develop in this study is based on Hałaj's (2018, 2020), which explores how liquidity shocks can spread and amplify in the financial system

---

12 Notably, we exclude profit maximization based on balance sheet optimization, leverage ratio, or ALM measures, as our focus remains on short-term horizons.

13 ABMs are well suited to capture stylized facts of the financial system, including periods of turmoil (*e.g.*, out-of-equilibrium behaviours, multiple decision rules, heterogeneous and disaggregated balance sheets, and non-linear dynamics and spillovers). But it is worth noting a few of the drawbacks of ABMs. One drawback relates to parameter calibrations, where historical data may not be accurate depictions of actual values, which might not yet be observed. Another drawback is the stability of the model, which is highly dependent on the parameter selection. For more details on ABMs, see Lux and Zwickels (2018).

through direct and indirect channels. Hałaj's (2018) model captures the interactions between banks and asset managers, accounting for feedback effects between liquidity and solvency, as well as the market impact of asset liquidation. Hałaj (2020) calibrates the model using Canadian banking data and simulates various scenarios of funding stress.

In our study, we extend Hałaj's (2018) ABM to include the other financial system entities within the scope of our study—namely, life insurance companies and pension funds. Further, we fine-tune the calibration of the fire sales parameter to adjust to different financial system entities based on their market liquidity, and we allow different degrees of sensitivity based on a quantile regression estimation.<sup>14</sup> We also add a buying behaviour rule for entities with a longer-term investment horizon. These entities would buy assets sold by other entities in the context of a fire sale. And entities would be interested in assets that could transition and become less carbon-intensive or greener (known as climate-transitioning assets). This would imply a positive return in the medium to long run but an initial investment in the short term.

These extensions allow us to explore alternative selling cases to discover insights from different types of market reactions, capturing the stochastic nature of distressed financial periods. The alternative fire sales cases are as follows:

- *Base case*—baseline parametrization for fire sales in our agent-based model.
- *Pension funds actively buy assets*—pension funds are assumed to actively buy climate-transitioning assets (*i.e.*, those that may help with the climate transition) sold by entities with liquidity needs (investment funds in our framework application). Such assets originate from firms that are not currently benefiting from the transition scenarios but that could benefit over the longer run if a credible transition plan is implemented (*i.e.*, environmental, social and governance [ESG] improvers). The motivation for this case is to reflect the opportunities created by climate-transitioning assets. Pension funds might monitor features related to the fundamental value of firms as well as

---

<sup>14</sup> This follows Fukker *et al.* (2022).

the credibility of their transition plans. Such “bargain” investments could outperform the market benchmark (*i.e.*, capturing alpha).<sup>15</sup>

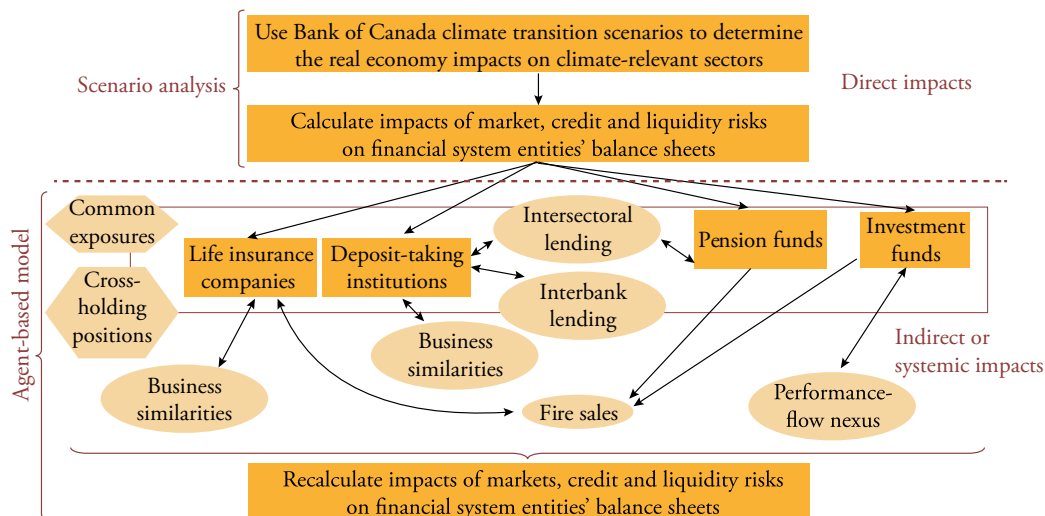
- Amplified fire sales–asset sales, driven by investment funds in our framework application, have a larger effect on falling asset prices, reflecting the non-linearities in the relationship between selling volumes and price changes.<sup>16</sup> This could result from, for instance, self-fulfilling panics among investors and precautionary hoarding of liquidity by potential buyers.

### 2.2.2. Transmission and amplification channels

Figure 2 presents an overview of the transmission channels considered in our study.

Figure 2

#### Systemic effects—and their transmission channels—following climate transition shock



15 We reflect this investment possibility for pension funds to capture the effects of such an investment strategy, which may smooth out the burden related to the market stress faced by the financial system.

16 See Fukker *et al.* (2022).

### *Common exposures and fire sales*

Common exposures can lead to systemic losses when an asset price decreases sharply, either because of a shock to that asset or because of selling pressure in secondary markets, such as in a fire sale. Fire sales could lead to securities being sold at large discounts due to a liquidity shortage. This situation can create opportunities for value investors willing to buy undervalued assets with recovery potential. However, fire sales pose challenges for investors because of increased mark-to-market losses and herd behaviour, potentially leading to larger losses.<sup>17</sup>

For equity and bonds,<sup>18</sup> we assume an exponential price impact function, widely used in the literature<sup>19</sup> to assess how the volume sold ( $V$ ) would affect a price change  $\Psi_\phi(V)$  via the sensitivity of the market to a certain of volume sold ( $\alpha$ ):

$$\Psi_\phi(V) = (1 - \exp(-V\alpha)) \quad [1]$$

The fire sales are extremely sensitive to the value of  $\alpha$ , so as a robustness check, we estimate this value for different types of climate related assets using quantile regression, following Fukker *et al.* (2022).

### *Business similarities and funding cost*

A severe drop of the solvency ratio  $\Delta^r$  could be seen as a signal of higher risk of default by the funding market. Lenders would revise their risk premia, implying a higher funding cost. The funding cost increase would be higher when the liabilities  $\mu_m^i$  have longer maturities. The bigger is the solvency ratio

<sup>17</sup> Common exposures can have positive effects in normal times, such as diversification benefits and risk sharing. But they can also have negative effects in downturns through the amplification of losses and contagion. These effects can have adverse consequences for the real economy by reducing credit availability, investment opportunities and consumer confidence. See, for example, Acemoglu, Ozdaglar and Tahbaz-Salehi (2015) and Abad *et al.* (2022).

<sup>18</sup> Price change in bonds would change the interest rate, making an effect on balance sheet no matter the FI is selling or not the bond. Drop in prices would constraint the funding opportunities of the issuer company, implying a higher yield and a higher credit risk due to this restriction.

<sup>19</sup> See, for instance, Schnabel and Shin (2002), Cifuentes *et al.* (2005), Cont and Schaanning (2017)

change with respect to the threshold, the higher would be the increase in funding cost.

Moreover, when the asset allocation among financial institutions for a given type of financial entity (*e.g.*, banking sector) is similar, this could indicate potential exposure to similar risks. If an entity faces solvency issues after a shock (such as a climate transition shock), this could be informative about the solvency positions of similar entities, leading to an increase in funding costs.<sup>20</sup>

In our framework application, we consider how information contagion between entities with similar business models could imply higher funding costs when one entity is facing solvency issues after a climate transition shock. We define a similar business model as firms with similar funding and investment strategies, captured via the cosine similarity. If two firms have a cosine similarity higher than a certain threshold, contagion occurs between financial entities if any of them is facing a higher funding cost due to the solvency deterioration. We follow Hałaj (2018) and set the thresholds of the cosine similarity at 95% for banks, and we assume the same threshold for life insurance companies.

### *Cross-holding positions*

Cross-holding positions refer to entities owning investment (*e.g.*, through shares or debt instruments) in other financial entities. This exposure implies that the financial performance<sup>21</sup> of an entity directly influences its investor, thus potentially amplifying losses in the financial system.<sup>22</sup>

---

20 Borrower default risk can also inform lender solvency risks (see Ahnert and Georg [2018]) and other lenders' solvency situations if a common systematic factor is shared (see Acharya and Yorulmazer [2008]). See Wang, *et al.* (2019) for a discussion of information contagion through business model similarities.

21 The equity returns are built for banks and life insurance companies based on their percentage change in equity value, while for the investment funds we compute the change in the total assets under management (AuM).

22 Although we model mutual funds as active players, we consider the whole investment fund sector, as they would play a passive role in terms of cross-holding contagion, without taking any active in relation with liquidity measures.

Given each market participant's asset portfolio, we compute the impacts of the decrease in value of one financial entity into the rest of the financial entities.<sup>23</sup> For the debt positions, we follow Hałaj (2018) by focusing on default events without considering the credit deterioration in terms of debt pricing, and by assuming a loss-given-default (*LGD*) of 40 percent for banks and life insurance companies. Default will occur if the solvency ratio is below the default threshold at any of the steps (or loop) in the ABM after all the previous steps.<sup>24</sup>

### *Interbank and intersectoral lending*

Lending channels between banks (*i.e.*, interbank lending) or between banks and pension funds (*i.e.*, intersectoral lending) keep liquidity flowing in the financial system. If a lender faces liquidity constraints, this could curtail the lending facilities to other counterparties. The borrower would carry a cost of replacement of the discontinued funding sources.

When banks and pension funds cannot obtain sufficient liquidity from eligible assets, they cease rolling over credit in the interbank and intersectoral lending markets. The debtor then seeks alternative lenders, incurring a search cost as an externality.

### *Performance-flow nexus*

The performance-flow nexus is an amplification channel specific to open-ended mutual funds. Large redemptions, triggered by the poor performance of funds,<sup>25</sup>

---

23 However, the coverage is not perfect. We can get the positions of investment funds in participations or equity shares in other investment funds, banks and life insurance companies. For life insurance companies, we can capture banks, other life insurance companies and investment funds. For banks, the investment in other market participants is limited to the DSIBs through the EBET-2A returns, but no information is available for SMSBs. Finally, the positions of pension funds is only known for investment funds, being the coverage we were able to capture quite diverse depending on the pension fund.

24 Note that default will be also translated into a lender search for the borrowers in the intersectoral and interbanking sectors, implying a search cost, as described in steps 2 and 3.

25 This channel has been observed in corporate bond funds (Goldstein *et al.*, 2017; Dötz and Weth, 2019) and equity funds (Chen *et al.*, 2010). The performance-flow nexus has been introduced in several resilience exercises for mutual funds (Arora and Ouellet Leblanc, 2018; ESMA, 2019; Gourdel and Sydow, 2022; Ojea-Ferreiro, 2020; Fricke and Fricke, 2021).

may drive fund managers to sell assets at lower prices to cover withdrawals, burdening remaining investors. This creates a “first-mover advantage” and triggers herding behaviour, which makes it difficult for fund managers to meet all redemption requests. Thus, losses can lead to redemptions, which in turn result in further losses.

Hałaj (2018) captures the non-linear relationship as a redemption of 3% when the change in AuM is below- 6%. We estimate the relationship between weekly flows and returns change for different quantiles for equity funds, bond funds and other funds. The literature has point out to differences between equity and bonds funds in terms of flows,<sup>26</sup> which motivate the calibration in terms of the type of mutual fund.

### 3. APPLYING THE FRAMEWORK USING CANADIAN FINANCIAL SYSTEM DATA

We use Canadian financial system data to apply the methodological framework presented in section 2. This application reveals the types of metrics the framework can generate. These metrics range from initial exposures to more complex financial risk and sectoral interconnectedness measures, both before and after the climate transition shock occurs.

For this application, we leverage the impacts of the year 2050 for the delayed scenario described in section 2, which is, on average, the most financially stressful. Impacts in 2050 are compared with the baseline scenario.

#### 3.1. Data, assumptions, and limitations

##### 3.1.1. Data sources

We rely on a variety of data sources to capture representative datasets of four major types of financial entities: deposit-taking institutions, life insurance companies, pension funds and investment funds.

---

<sup>26</sup> See, for instance, Goldstein *et al.* (2017); Dötz and Weth (2019) and Chen *et al.* (2010).



Table 1

**Data sources for direct effects**

Financial system entity or type of assets	Loans or private debt	Bonds*	Public equities*	Private equities	All other assets and metrics	Derivatives
Deposit-taking institutions	OSFI (A2, RAPID2 BF), AMF	OSFI (B2), AMF		-	OSFI (M4, NCCF, LCR, BCAR), AMF	-
Life insurance companies	OSFI (IPMT), AMF			-	OSFI (IPMT, LICAT), AMF	
Pension funds	Voluntarily provided by participating pension funds					
Investment funds	-	Lipper, a Refinitiv Company		-	Lipper, a Refinitiv Company	-

\*Where relevant, Eikon, a Refinitiv Company is used to complete public securities information.

Note: OSFI is the Office of the Superintendent of Financial Institutions; AMF is the Autorité des Marchés Financiers; A2 is OSFI's Non-Mortgage Loans return; B2 is OSFI's Securities return; M4 is OSFI's Balance Sheet return; LCR is OSFI's Liquidity Coverage Ratio Reporting Form; NCCF is OSFI's Net Cumulative Cash Flow Reporting Form; RAPID2 BF is OSFI's Wholesale Transaction return; BCAR is OSFI's Basel Capital Adequacy Reporting return; IPMT is OSFI's Investment Portfolio Monitoring Template; LICAT is OSFI's Life Insurance Capital Adequacy Test return.

The data collection process is multifaceted, involving reliance on various sources and arrangements.

- We use regulatory returns from OSFI for federally regulated deposit-taking institutions and life insurance companies; data for these entities regulated in the province of Quebec are obtained through a data sharing agreement with the AMF.
- Collaboration with several Canadian pension funds and asset managers of pension funds allows us to acquire detailed data on their exposures to climate-relevant sectors, covering both long and short positions in their portfolios of public and private assets and derivatives.
- For investment funds, we use data from a third-party provider, Lipper, a Refinitiv Company. These data include information on approximately 2,000 open-ended mutual funds and exchange-traded funds (ETFs) in Canada.

All entities and funds we consider are based in Canada, though as previously mentioned, the analysis includes a worldwide coverage of their assets.<sup>27</sup> Table 1 presents the data sources used in the scenario analysis to examine the direct

Table 2

**Data sources for systemic (or indirect) effects**

Financial system entity or transmission channel	Common exposures	Cross-holding positions	Interbank lending	Intersectoral lending	Business similarities	Fire sales
Deposit-taking institutions	OSFI (B2, NCCF), AMF	OSFI (EB/ET-2A)	OSFI (EB/ET-2L)		OSFI (NCCF), AMF	
Life insurance companies	OSFI (IPMT), AMF		N/A	-	OSFI (LICAT, LIFE), AMF	Eikon, a Refinitiv Company
Pension funds	Voluntarily provided by participating pension funds**		N/A	OSFI (EB/ET-2A)*	N/A	
Investment funds	Lipper, a Refinitiv Company		N/A	-	-	

\*90% of the intersectoral lending positions reported by banks to pension funds are assumed to be short-term.

\*\*Cross-holding positions for pension funds cover only investment funds.

Note: Where data are unavailable, calibrations from other research are used. For example, Fukker *et al.* (2022) is used for debt price sensitivities to selling pressures and Hałaj (2020) for funding shocks due to decreasing solvencies. OSFI is the Office of the Superintendent of Financial Institutions; AMF is the Autorité des Marchés Financiers; B2 is OSFI’s Securities return; EB/ET-2A and 2L are OSFI’s Interbank and Major Exposures returns; NCCF is OSFI’s Net Cumulative Cash Flow Reporting form; LICAT is OSFI’s Life Insurance Capital Adequacy Test return; IPMT is OSFI’s Investment Portfolio Monitoring Template; LIFE is OSFI’s harmonized quarterly and annual supplement return on life insurance.

27 Our study presents results for Canadian-domiciled open-ended mutual funds and ETFs. The mutual funds and ETFs are limited to equities, bonds, mixed assets, and others (including alternatives, money markets). Funds with asset compositions like real estate and commodities are outside the scope of our study. The ABM model includes investment funds domiciled in Canada, the United States or abroad that received investment from a Canadian financial entity. The inclusion of foreign entities intensifies market selling pressure, amplifying the fire sale effects.

effects of climate transition risk on distinct financial entities. The ABM model was calibrated using some of the data sources described above as well as others. Table 2 provides further details.

## 3.2. Illustration

The following charts and tables illustrate the potential climate-relevant exposures, vulnerabilities, and risks to the distinct financial system entity types as well as to the financial system as a whole. We explore these features before and after the materialization of the climate transition shock.

### 3.2.1. Before climate transition shock

Panels a to d in chart 1 show the initial exposures of climate-relevant assets for the financial system entities within the scope of our study, which collectively manage a substantial portion of the Canadian financial system (total assets approximately \$14.5 trillion). These climate-relevant exposures include assets of the following types:

- loans or private debt
- bonds
- public equity
- private equity (for pension funds only)

The financial system's overall climate-relevant exposures within the scope of our study constitute about 8% of total assets. However, exposures vary across the different types of entities. For instance, deposit-taking institutions have under 4% exposure to climate-relevant assets, while life insurance companies have about 19%.

Exposures also vary across different types of entities in terms of their asset allocations. While life insurance companies tend to have a higher allocation in climate-relevant bonds and loans, pension funds' and investment funds'

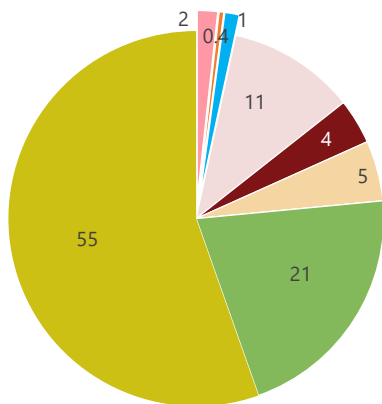
Chart 1

## Climate-relevant asset exposures for financial system entities in scope of our study

(Percentage)

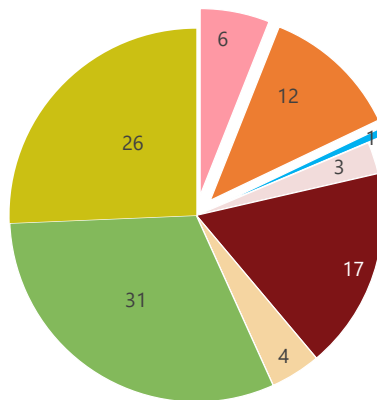
a) Deposit-taking institutions

Total assets = \$7.9 trillion



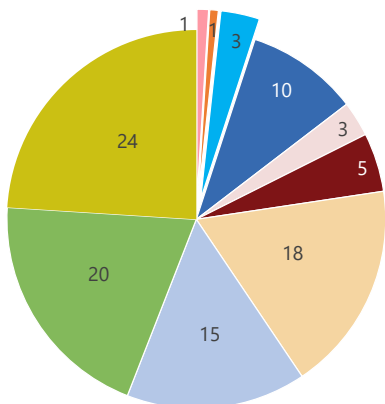
b) Life insurance companies

Total gross assets under management = \$0.9 trillion



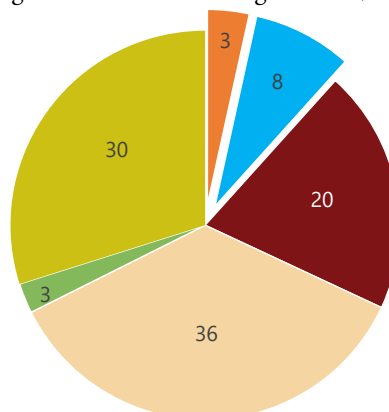
c) Pension funds

Total gross assets under managements= \$2.7 trillion



d) Investment funds

Total gross assets under management = \$2.9 trillion



- Corporate loans or private debt, CRSs
- Corporate bonds, CRSs
- Public equities, CRSs
- Private equities, CRSs
- Corporate loans or private debt, non-CRSs
- Corporate bonds, non-CRSs
- Public equities, non-CRSs
- Private equities, non-CRSs
- Cash and other securities
- Other loans and assets

Note: CRS is climate-relevant sector. Components in grey are assets outside of the study's scope (e.g., residential and commercial mortgages, sovereign bonds).

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company and Bank of Canada calculations. Last observations: deposit-taking institutions, life insurance companies, investment funds and most pension funds, December 2021; remaining pension funds, March 2022.

portfolios contain more climate-relevant equities, with pension funds holding a significant amount of climate-relevant private equities.

### 3.2.2. After climate transition shock (framework application)

The charts in this section show the results from applying our methodological framework. These charts illustrate findings on both the direct effects (through scenario analysis) and systemic effects (through agent-based modelling) after the climate transition shock has occurred. Recall that the shock used in this study originated from the most stressful climate transition scenario—the *below 2 °C delayed* scenario. The shock's impacts shown in the charts in this section are relative to the baseline scenario (2019 policies).

#### *Investment allocation across climate-relevant sectors*

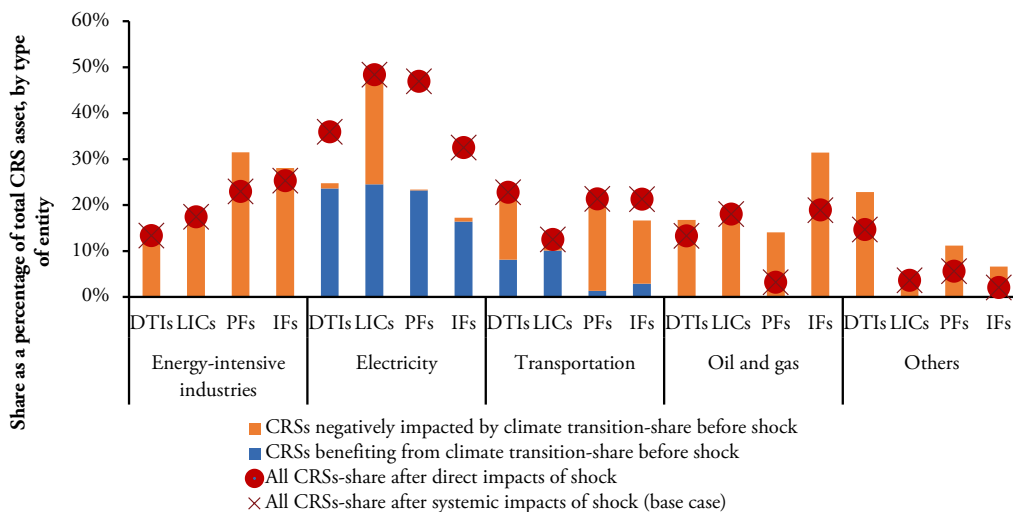
Chart 2 presents the asset allocations across climate-relevant sectors for each type of financial entity. The grey and tan bars show the initial share of climate-relevant sector assets before the climate transition shock. Deposit-taking institutions, life insurance companies and pension funds exhibit similar asset allocations in sectors that benefit from our transition scenarios, with about one-third of their climate-relevant assets invested in these sectors. In contrast, investment funds have the smallest stake in these sectors, with less than one-fifth of their climate-related assets allocated in these sectors.

Chart 2 also shows how both the direct effects (red circles) and systemic effects (red Xs) of the climate transition shock can change the weighting of climate-relevant sectors relative to the total climate-related holdings of different financial entity types. Because we assume static balance sheets, changes to asset valuations in each sector after the shock change the relative weight of that sector in the entities' portfolios. As asset valuations fluctuate because of the shock, the shares of exposures to sectors that benefit from the transition scenarios increase. This is the case for deposit-taking institutions, life insurance companies and pension funds in the electricity sector. However, despite their important exposure to this sector, life insurance companies' shares increase less than those of pension funds, given that life insurance companies invest more heavily in bonds. Bonds

Chart 2

### Share of exposures by type of climate-relevant sector

(Each type of entity sums to 100%, impacts are percentage-point change, relative to baseline)



Note: CRS is climate-relevant sector; DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company; and Bank of Canada calculations. Last observations: DTIs, LICs, IFs and most PFs, December 2021; remaining PFs, March 2022.

generally fluctuate less in our transition scenarios compared with equities, which are more sensitive to changes in expected future cash flows and discount rates (shown later in chart 5, panel b).

### Allocation of debt holdings by credit rating

Financial entities' risk-taking behaviour concerning their climate-relevant assets also sheds light on the potential effects of a climate transition shock.<sup>28</sup> Chart 3 and chart 4 illustrate the role of this informative dimension for climate-relevant bonds as well as climate-relevant loans and private debt. Life insurance companies hold 95% of their pre-shock climate-relevant bonds and loans allocation in the

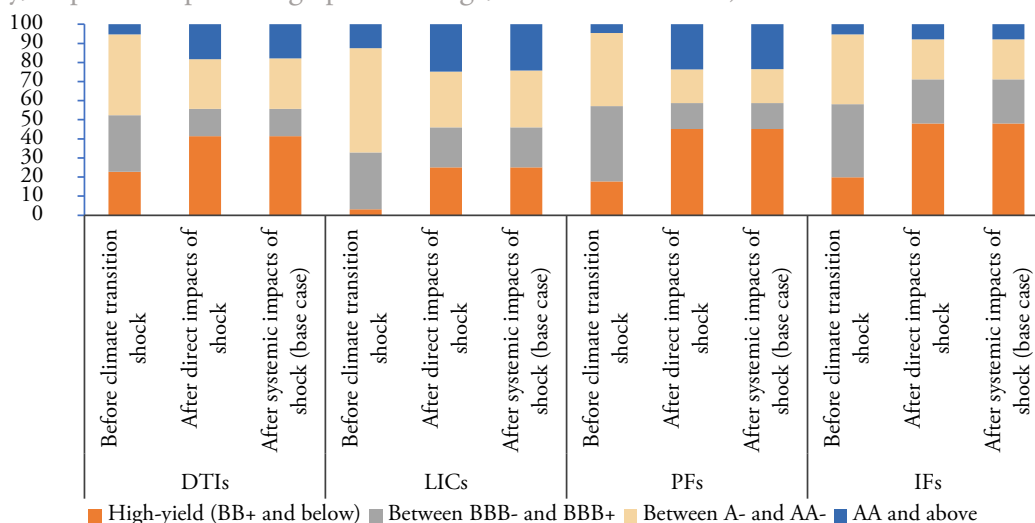
28 In this study, the riskiness of an asset is based on its credit rating. Higher credit ratings indicate lower risk and higher credit quality, while lower credit ratings indicate higher risk and lower credit quality.

investment-grade space. Pension funds, meanwhile, exhibit a riskier pre-shock investment profile, with a significant portion of their climate-relevant private debt falling into the high-yield space.<sup>29</sup> Investment funds also hold a notable percentage of their climate-relevant corporate bond portfolio in high-yield securities.

Chart 3

### Share of climate-relevant bond exposures, by bond credit rating

(Percentage of total climate-relevant corporate bonds, weighted average for each type of entity, impacts are percentage-point change, relative to baseline)



Note: DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company; and Bank of Canada calculations. Last observations: DTIs, LICs, IFs and most PFs, December 2021; remaining PFs, March 2022.

Charts 5 and 6 also show that the allocation of credit risk becomes riskier as the climate-relevant bonds and loans are negatively impacted by the climate transition shock, migrating from investment-grade to the high-yield credit rating (shown in the charts by the increasing length of the red bars after the

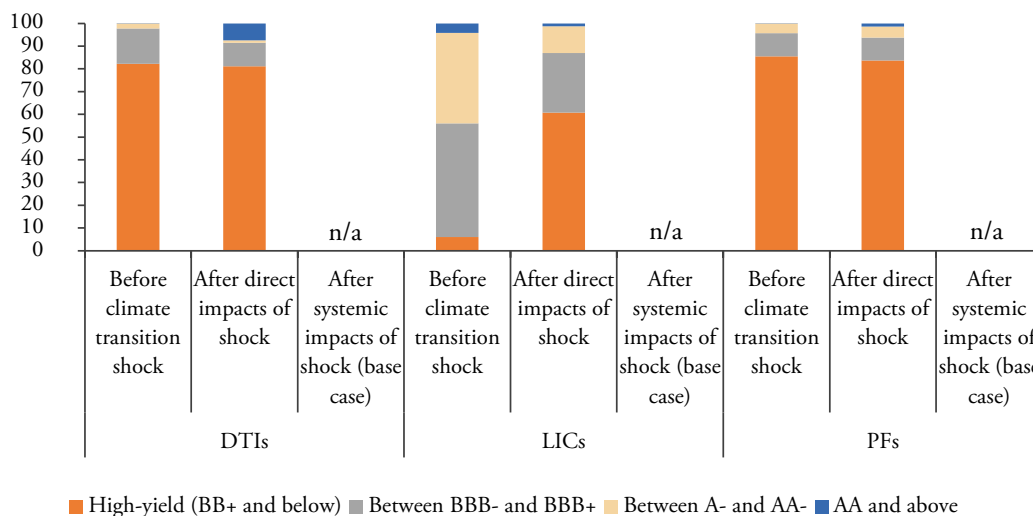
<sup>29</sup> This corroborates a trend that indicates pension funds are taking more risk in private markets. However, through the negotiation of covenants, pension funds have a tighter hold on the terms of private debt contracts. For example, contract terms may incorporate details around a firm's climate transition plans, serving to mitigate climate-related risk.

climate shock). This is particularly evident in the average risk profile of climate-relevant bond portfolios of pension funds and investment funds. Conversely, the credit ratings of climate-relevant assets in those sectors that stand to benefit from the transition see an improvement following the direct impacts (shown by the increasing length of the green and blue bars in chart 3 and chart 4). This is particularly noteworthy for all entity types except investment funds, given their exposure to sectors that benefit from the transition.

Chart 4

### Share of climate-relevant loan and private debt exposures, by loan or private debt credit rating

(Percentage of total climate-relevant corporate loans and private debt, weighted average for each type of entity, impacts are percentage-point change, relative to baseline)



Note: No systemic impacts occur for loans and private debt because of the absence of trade in secondary markets. DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des marchés financiers; proprietary data from Canadian pension funds; and Bank of Canada calculations. Last observations: DTIs, LICs, IFs and most PFs, December 2021; remaining PFs, March 2022.

### Credit, market and liquidity risk impacts

Chart 5 shows the direct effects on credit and market risks for the portfolios held by financial system entities after the climate transition shock. Deposit-



taking institutions face a notable increase in credit risk in their climate-relevant loans portfolio (chart 5, panel a). Their climate-relevant equities also experience significant market valuation impacts, while the effects on bonds are relatively minor (chart 5, panel b). However, as we show later, the valuation of total assets in deposit-taking institutions’ portfolios are not materially affected due to their relatively low initial exposure to climate-relevant assets.

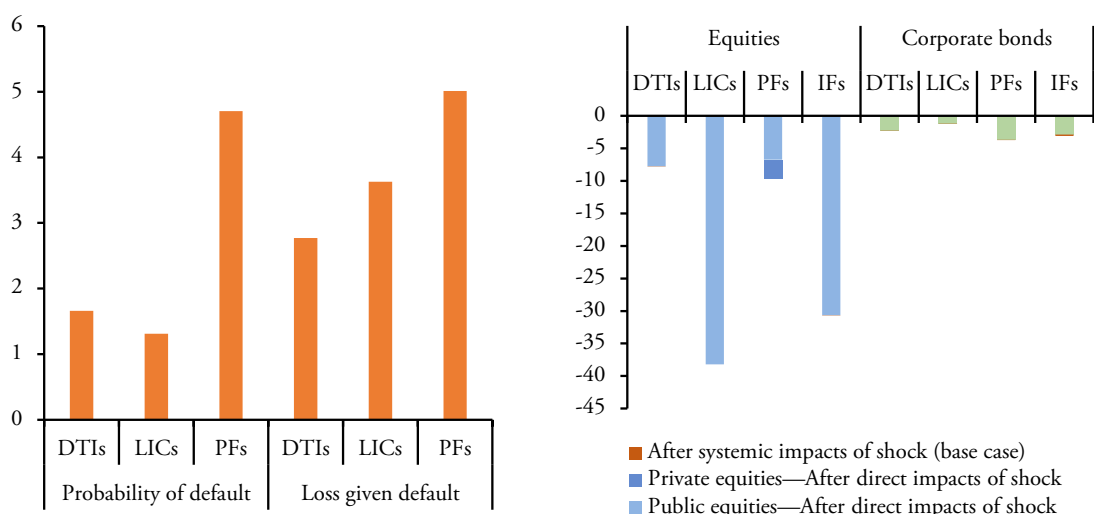
Life insurance companies experience lower credit risk impacts than deposit-taking institutions, which is consistent with their allocation of climate-relevant assets and risk-taking behaviour. Moreover, despite a considerable decrease in equity valuations, the overall impact is small due to life insurance

Chart 5

### Direct and systemic credit and market risk impacts on climate-relevant assets

(Percentage-point change, relative to baseline, weighted average of climate-relevant assets, by type of entity)

- a) Probability of default and loss given default, climate-relevant corporate loans and private debt
- b) Market valuations. climate-relevant corporate bonds and equities



Note: DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company; and Bank of Canada calculations. Last observations: DTIs, LICs, IFs and most PFs, December 2021; remaining PFs, March 2022.

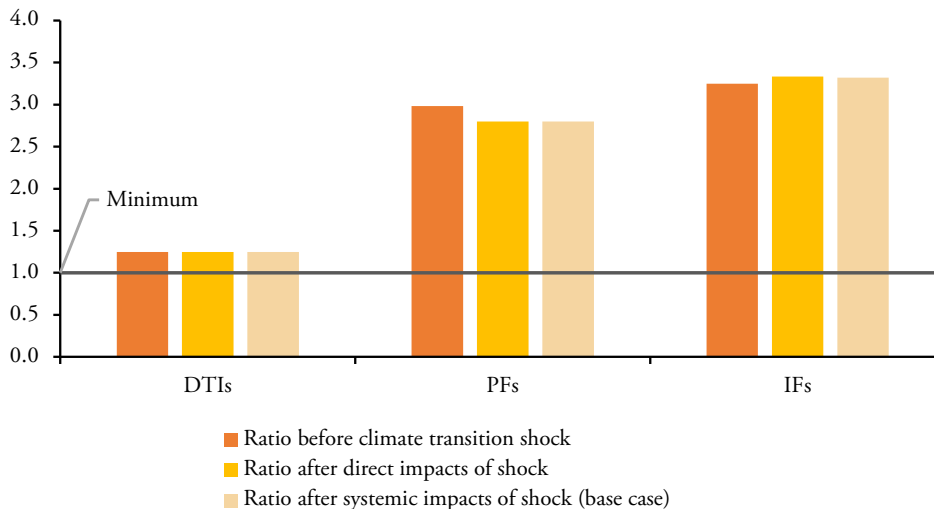
companies' limited investment in climate-relevant equities. Pension funds' riskier investment profile contributes to the potential for greater losses, with a substantial increase in the average probability of default on their climate-relevant private debt portfolio. However, they face a relatively smaller decline in their average climate-relevant equity valuations, primarily from their public equity portfolio. Like other entities, investment funds show moderate credit risk impacts but face significant decline in their equity valuations.

A financial system's vulnerability to a climate transition shock may also be informed by impacts on the liquidity ratios of the different entities. Chart 6 assesses how the liquidity ratio is impacted by the revaluation of assets, and in the specific case of pension funds, by the losses and margin calls from their derivatives exposures. It shows that liquidity ratios for all types of financial entities remain, on average, well above the threshold for the liquidity coverage ratio for deposit-

Chart 6

### Direct and systemic impacts on liquidity ratios

(Liquidity coverage ratios, by type of entity)



Note: DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company; and Bank of Canada calculations. Last observations: DTIs, LICs, IFs and most PFs, December 2021; remaining PFs, March 2022.

taking institutions or expected outflows for pension funds and investment funds. This suggests that the financial entities have adequate liquidity to meet their obligations and cope with potential shocks.

### *Asset valuation impacts by transmission channel*

The panels in chart 7 show the changes in total asset valuations for different financial entities' portfolios. For deposit-taking institutions, life insurance companies and pension funds, the total asset valuations experience a minor to milder decline after the direct effects of the climate transition shock (first column in all panels). The deposit-taking institutions' relatively low initial exposure to climate-relevant assets, and life insurance companies' and pension funds' diversified portfolios, help mitigate direct impacts. Investment funds, in contrast, face greater

Chart 7

### Direct and systemic effects on total assets

(Percentage-point change, relative to baseline)

a) Deposit-taking institutions—effects on total assets

b) Life insurance companies—effects on total gross assets under management

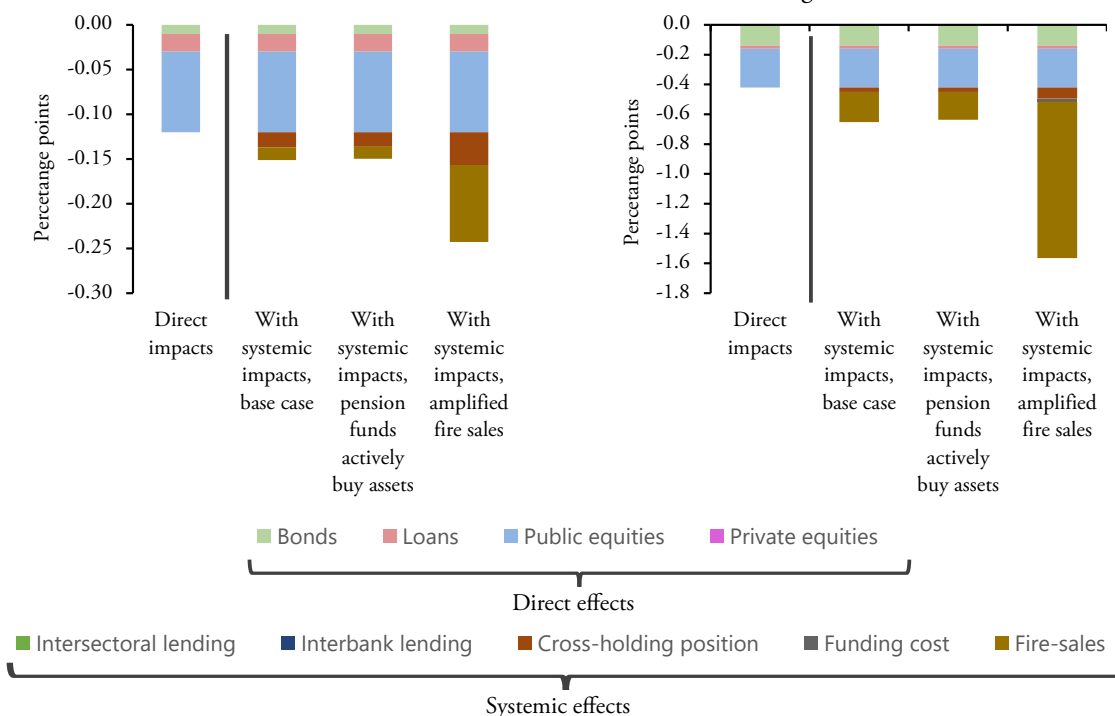
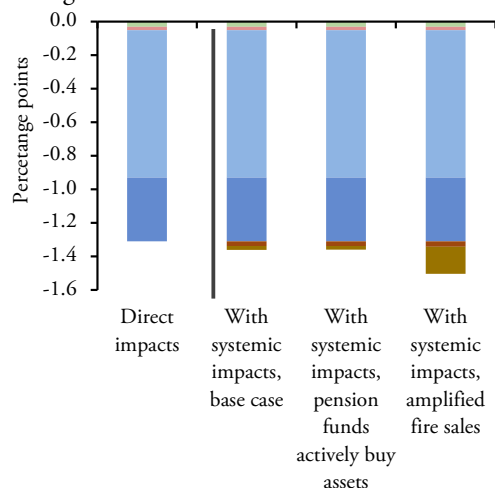


Chart 7 (continued)

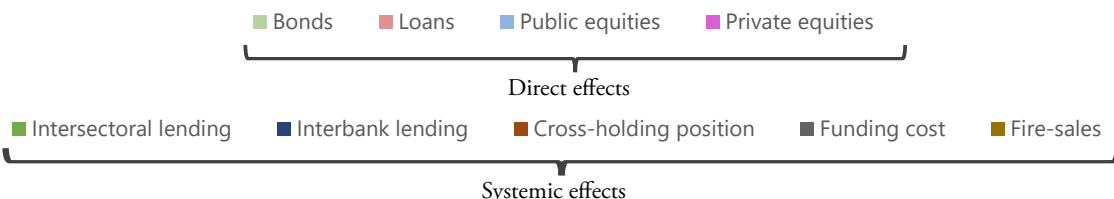
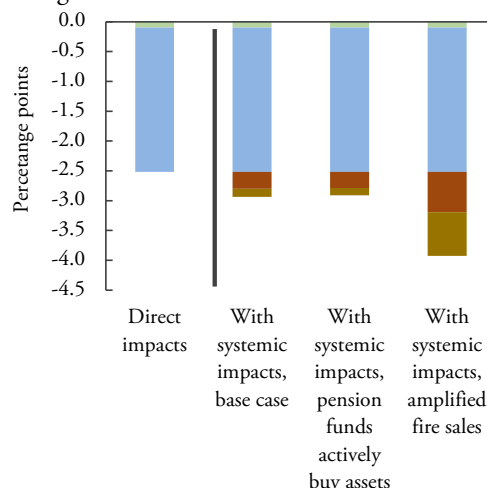
### Direct and systemic effects on total assets

(Percentage-point change, relative to baseline)

c) Pension funds—effects on total gross assets under management



d) Investment funds—effects on total gross assets under management



Note: DTIs are deposit-taking institutions; LICs are life insurance companies; PFs are pension funds; IFs are investment funds. *Base case* refers to the baseline parametrization of fire sales in our agent-based model. *Pension funds actively buy assets* refers to pension funds actively buy climate-transitioning assets (*i.e.*, assets that help with the climate transition) sold by other entities (mainly investment funds) with liquidity needs. *Amplified fire sales* refers to asset sales (mainly by investment funds) having a bigger effect on the falling asset prices, reflecting the non-linearities between selling volumes and price changes.

Sources: Office of the Superintendent of Financial Institutions; Autorité des Marchés Financiers; proprietary data from Canadian pension funds; Lipper, a Refinitiv Company; Eikon, a Refinitiv Company; and Bank of Canada calculations. Last observations: deposit-taking institutions, life insurance companies, investment funds and most pension funds, December 2021; remaining pension funds, March 2022.

direct effects, with a notable decline in their total gross assets under management, especially for equity funds.

Though we observe mild direct effects of the climate transition shock, systemic effects may amplify these initial losses. To provide insights around this finding,

the panels in chart 7 also present the transmission channels under the three alternative fire sale cases discussed in section 2:

- *base case*—baseline parametrization for fire sales in our agent-based model,
- *pension funds actively buy assets*—pension funds actively buy climate-transitioning assets (*i.e.*, assets that may help with the climate transition) sold by investment funds facing liquidity needs,
- *amplified fire sales*—asset sales (mainly by investment funds) have a bigger effect on the falling asset prices, reflecting the non-linearities between selling volumes and price changes.

Our analysis shows that even in the base case, mild direct effects—mostly triggered by fire sales—can increase significantly when accounting for these channels. While pension funds can lessen systemic effects through their active buying, the purchases are not large enough to absorb all undervalued assets. Finally, in the amplified fire sales case, the fallout from fire sales is significantly larger, triggering an increase in funding costs for life insurance companies and doubling the impact on investment funds' cross-holding positions.

## 4. CONCLUSION

We developed a methodological framework to understand the propagation of shocks across the financial system. This framework uses an agent-based model informed by risks scenario analysis, providing insights into the direct effects and systemic implications of various shocks. We applied this framework to Canadian financial system data in the context of the materialization of a climate transition risks.

Our application reveals how different financial entities are impacted by shocks, considering factors such as exposure to relevant assets, risk-taking behavior, size, investment horizon, business models, and asset mixes. This approach shows that while systemic factors can amplify the direct effects of shocks, assessing initial exposures provides valuable insights into the risks faced by financial entities. Evaluating portfolio allocations by sector and asset type highlights how some entities may be less susceptible to shocks due to their exposure to beneficial sectors.

The size of a financial entity significantly influences its ability to understand and adapt to shocks. Larger entities, with more diversified portfolios and advanced risk assessment capacities, are better equipped to navigate challenges. Other factors, such as risk management strategies, sectoral focus, and regulatory environment, also play crucial roles.

Investment horizons are another critical factor. Entities with long investment horizons, like pension funds and life insurance companies, may act as stabilizers during shocks due to their long-term focus. In contrast, deposit-taking institutions and investment funds, with shorter investment horizons and more fragile funding sources, may increase volatility in fire-sale environments.

Our analysis also highlights how shocks can spread across entity types, potentially creating systemic implications. Common exposures reveal the degree of portfolio interconnectedness in the financial system. Despite low initial direct exposures, transmission channels like cross-holding positions and fire sales can amplify direct effects. Some entities, such as investment funds, are more likely to propagate shocks, while others, like pension funds, act as shock absorbers.

Our findings underscore the need for further analytical efforts encompassing a broader range of asset types and sectors. This will provide a more comprehensive understanding of financial risks across the landscape. Our work strengthens knowledge of how distinct financial entities may be impacted by and respond to financial risks and opportunities, and the potential channels through which these risks and opportunities may spread. More broadly, our work contributes to building standardized systemic risk assessment and monitoring tools.

## REFERENCES

- ABAD, J., D'ERRICO, M., KILLEEN, N., LUZ, V., PELTONEN, T., PORTES, R., and URBANO, T. (2022). Mapping Exposures of EU Banks to the Global Shadow Banking System. *Journal of Banking & Finance*, 134, 106168.
- ACEMOGLU, D., OZDAGLAR, A., and TAHBAZ-SALEHI, A. (2015). Systemic Risk and Stability in Financial Networks. *American Economic Review*, 105(2), 564–608.

ACHARYA, V. V., and YORULMAZER, T. (2008). Information Contagion and Bank Herding. *Journal of Money, Credit and Banking*, 40(1), 215–231.

AHNERT, T., and GEORG, C-P. (2018). Information Contagion and Systemic Risk. *Journal of Financial Stability*, 35(C), 159–171.

AIKMAN, D., CHICHKANOV, P., DOUGLAS, G., GEORGIEV, Y., HOWAT, J., and King, B. (2019). System-wide stress simulation. *Bank of England Staff Working Paper*, No. 809.

ALTMAN, E. I., BRADY, B., RESTI, A., and SIRONI, A. (2005). The link between default and recovery rates: Theory, empirical evidence, and implications. *The Journal of Business*, 78(6), 2203-2228.

ALTMAN, E. I., and KALOTAY, E. A. (2014). Ultimate recovery mixtures. *Journal of Banking & Finance*, 40, 116-129.

ARORA, R., BÉDARD-PAGÉ, G., OUELLET LEBLANC, G., and SHOTLANDER, R. (2019). Bond Funds and Fixed-Income Market Liquidity: A Stress-Testing Approach. Bank of Canada Technical Report, No. 115.

ARORA, R., and OUELLET LEBLANC, G. (2018). How Do Canadian Corporate Bond Mutual Funds Meet Investor Redemptions? Bank of Canada Staff Analytical Note, No. 2018-14.

BARDOSCIA, M., BARUCCA, P., BATTISTON, S., CACCIOLI, F., CIMINI, G., GARLASCHELLI, D., SARACCO, F., SQUARTINI, T., and CALDARELLI, G. (2021). The physics of financial networks. *Nature Reviews Physics*, 3(7), 490-507.

BARUCCA, P., MAHMOOD, T., and SILVESTRI, L. (2021). Common asset holdings and systemic vulnerability across multiple types of financial institution. *Journal of Financial Stability*, 52, 100810.

BATTISTON, S., MANDEL, A., MONASTEROLO, I., SCHÜTZE, F., and VISENTIN, G. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 7(4), 283-288.

BÉDARD-PAGÉ, G., BOLDUC, D., DEMERS, A., DION, J. P., PANDEY, M., BERGER-SOUCY, L., and WALTON, A. (2021). COVID-19 crisis: Liquidity management at Canada's largest public pension funds. (No. 2021-11). Bank of Canada Staff Analytical Note.

CACCIOLI, F., FERRARA, G., and RAMADIAH, A. (2020). Modelling fire sale contagion across banks and non-banks (No. 878). Bank of England.

CALIMANI, S., HAŁAJ, G., and ŻOCHOWSKI, D. (2022). Simulating fire sales in a system of banks and asset managers. *Journal of Banking & Finance*, 138, 105707.

CETORELLI, N., DUARTE, F. M., and EISENBACH, T. M. (2016). Are asset managers vulnerable to fire sales? (No. 20160218). Federal Reserve Bank of New York.

CHRÉTIEN, E., DARPEIX, P., GALLET, S., GRILLET-AUBERT, L., LALANNE, G., MALESSAN, A., NOVAKOVIC, M., SALAKHOVA, D., SAMEGNI-KEPAGNOU, B., and VANSTEENBERGHE, E. (2020). Exposures through common portfolio and contagion via bilateral cross holdings among funds, banks and insurance companies. Haut Conseil de Stabilité Financière Working Papers.

CHEN, Y.-H. H., ENS, E., GERVAIS, O., HOSSEINI, H., JOHNSTON, C., KABACA, S., MOLICO, M., PALTSEV, S., PROULX, A., and TOKTAMYSOV, A. (2022). Transition Scenarios for Analyzing Climate-Related Financial Risk. *Bank of Canada Staff Discussion Paper* No, 2022-1.

CHERNENKO, S., and SUNDERAM, A. (2016). Liquidity Transformation in Asset Management: Evidence from the Cash Holdings of Mutual Funds. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No. 22391.

CIFUENTES, R., FERRUCCI, G., and SHIN, H. S. (2005). Liquidity risk and contagion. *Journal of the European Economic Association*, 3(2-3), 556-566.

CONT, R., and SCHAANNING, E. (2017). Fire sales, indirect contagion and systemic stress testing. Indirect Contagion and Systemic Stress Testing (June 13, 2017).



CONT, R., KOTLICKI, A., and VALDERRAMA, L. (2020). Liquidity at risk: Joint stress testing of solvency and liquidity. *Journal of Banking & Finance*, 118, 105871.

DÖTZ, N., and WETH, M. A. (2019). Redemptions and Asset Liquidations in Corporate Bond Funds. *Deutsche Bundesbank Discussion Paper*, No. 11/2019.

DOUGLAS, G., and ROBERTS-SKLAR, M. (2018). What drives UK defined benefit pension funds' investment behaviour? *Staff Working Paper*, No. 757.

DUARTE, F., and EISENBACH, T. M. (2021). Fire-sale spillovers and systemic risk. *The Journal of Finance*, 76(3), 1251-1294.

DUBIEL-TELESZYNSKI, T., FRANCH, F., FUKKER, G., MICCIO, D., PELLEGRINO, M., and SYDOW, M. (2022). System-wide amplification of climate risk. *ECB Macroeprudential Bulletin*, 17.

EUROPEAN SECURITIES AND MARKETS AUTHORITY. (ESMA). (2015). Measuring the Shadow Banking System – A Focused Approach. In *Report on Trends, Risks and Vulnerabilities*, No. 2, 2015 34–38.

EUROPEAN SECURITIES AND MARKETS AUTHORITY. (ESMA). (2019). Stress Simulation for Investment Funds. ESMA Economic Report.

FRICKE, C., and FRICKE, D. (2021). Vulnerable asset management? The case of mutual funds. *Journal of Financial Stability*, 52, 100800.

FUKKER, G., KAIJSER, M., MINGARELLI, L., and SYDOW, M. (2022). Contagion from market price impact: A price-at-risk perspective (No. 2692). European Central Bank.

GOLDSTEIN, I., JIANG, H., and NG, D. T. (2017). Investor Flows and Fragility in Corporate Bond Funds. *Journal of Financial Economics*, 126(3), 592–613.

GOURDEL, R., and SYDOW, M. (2023). Non-banks contagion and the uneven mitigation of climate risk. *International Review of Financial Analysis*, 89, 102739.

HAŁAJ, G. (2018). System-Wide Implications of Funding Risk. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 503, 1151–1181.

HAŁAJ, G. (2020). Resilience of Canadian banks to funding liquidity shocks. *Latin American Journal of Central Banking*, 1(1-4), 100002.

HOSSEINI, H., JOHNSTON, C., LOGAN, C., MOLICO, M., SHEN, X., and TREMBLAY, M.-C. (2022). Assessing Climate-Related Financial Risk: Guide to Implementation of Methods. *Bank of Canada Technical Report*, No. 120.

HUANG, J. (2020). Dynamic Liquidity Preferences of Mutual Funds. *Quarterly Journal of Finance*, 10(4), 2050018.

JOHNSTON, C., VALLÉE, G., HOSSEINI, H., LINDSAY, B., MOLICO, M., TREMBLAY, M.-C., and WITTS, A. (2023). Climate-Related Flood Risk to Residential Lending Portfolios in Canada. *Bank of Canada Staff Discussion Paper*, No. 33.

LUX, T., and ZWINKELS, R. C. J. (2018). Empirical Validation of Agent-Based Models. In C. Hommes and B. LeBaron (eds.), *Handbook of Computational Economics (Vol. 4)* (437–488). Oxford, United Kingdom: Elsevier.

MIRZA, H., MOCCERO, D., PALLIGKINIS, S., and PANCARO, C. (2020). Fire sales by euro area banks and funds: What is their asset price impact? *Economic Modelling*, 93, 430-444.

OJEA-FERREIRO, J. (2020). Quantifying Uncertainty in Adverse Liquidity Scenarios for Investment Funds. *CNMV Bulletin Quarter*, II, 25–44.

PUHR, M. C., SANTOS, M. A., SCHMIEDER, M. C., NEFTCI, S. N., NEUDORFER, M. B., SCHMITZ, M. S. W. and HESSE, M. H. (2012). *Next generation system-wide liquidity stress testing*. International Monetary Fund.

SCHNABEL, I., and SHIN, H. S., (2002). Foreshadowing LTCM: the crisis of 1763, No 02-46, Papers, Sonderforschungsbereich 504.

SYDOW, M., SCHILTE, A., COVI, G., DEIPENBROCK, M., DEL VECCHIO, L., FIEDOR, P., FUKKER, G., GEHREND, M., GOURDEL, R., GRASSI, A., and

HILBERG, B. (2021). *Shock amplification in an interconnected financial system of banks and investment funds*.

WANG, D., VAN LELYVELD, I., and SCHAUMBURG, J. (2019). Do Information Contagion and Business Model Similarities Explain Bank Credit Risk Commonalities? *European Systemic Risk Board Working Paper Series*, No. 9



# La política medioambiental y el comportamiento de la industria: el caso de Irlanda

*Marta Alvaro-Taus\* y John Curtis\*\**

## Resumen

En los países industrializados, la regulación medioambiental juega un papel clave en el control de emisiones industriales. En este artículo introducimos la normativa establecida por la Unión Europea para regular las emisiones industriales, y presentamos cómo su aplicación se transcribe en el caso de Irlanda, donde la Agencia de Protección Medioambiental se encarga de llevar a cabo las funciones de supervisor medioambiental. También presentamos los resultados de un proyecto de investigación económica que estudia el comportamiento medioambiental de las instalaciones industriales y su cumplimiento con las normativas vigentes en Irlanda. Los resultados del estudio aportan nueva evidencia que demuestra que la supervisión medioambiental tiene un nivel de efectividad significativo para mejorar el estado de cumplimiento con los criterios establecidos en las licencias medioambientales en Irlanda por parte de las instalaciones industriales.

Palabras clave: emisiones industriales, regulación, comportamiento medioambiental, instalaciones industriales, Irlanda, Unión Europea.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las actividades industriales son una fuente importante de contaminación del agua, suelo y la atmósfera de las economías industrializadas. Actividades como la producción de electricidad, el tratamiento y la gestión de residuos, la cría de ganado o la fabricación de cemento generan emisiones contaminantes en el medioambiente que se consideran perjudiciales para la salud y el bienestar humano, y que por eso vienen siendo reguladas desde hace años. De hecho, la regulación medioambiental, y las políticas de supervisión para su cumplimiento,

---

\* Economic and Social Research Institute, Dublin (Ireland).

\*\* Economic and Social Research Institute, Dublin (Ireland), Trinity College Dublin, Dublin (Ireland), and SFI MaREI Centre for Energy, Climate and Marine.

son un área fundamental de la política medioambiental en las economías industrializadas.

En la Unión Europea (UE), las emisiones industriales están sujetas a la Directiva de Emisiones Industriales (Directiva 2011/10/UE), que tiene como objetivo principal reducir la contaminación ambiental causada por la industria y promover una producción más sostenible y segura. Esta directiva aborda el control y la regulación de una amplia gama de actividades industriales, tales como plantas de energía, refinerías, fábricas de productos químicos y operaciones de gestión de residuos. Y lo hace garantizando que las instalaciones industriales en toda la UE adopten las Mejores Técnicas Disponibles (BAT, por sus siglas en inglés) para minimizar las emisiones contaminantes y el impacto ambiental, al tiempo que se mantienen niveles competitivos de producción. De hecho, el concepto de Mejores Técnicas Disponibles es uno de los pilares de la DEI, y que obliga a las industrias a utilizar tecnologías y métodos modernos que logren los niveles más altos de protección ambiental, siempre que sea viable desde un punto de vista económico y técnico.

Con el Pacto Verde Europeo, la UE ha ido un paso más allá, y se ha comprometido a lograr la neutralidad climática para 2050, lo que ha impulsado nuevas revisiones de la DEI para adaptarla a los objetivos de reducción de emisiones de carbono y contaminación. La última actualización se llevó a cabo en abril del 2024, cuando el Consejo de la Unión Europea aprobó una revisión de la DEI para mejorar aún más la protección del medioambiente y la salud humana. Esta revisión incluye la ampliación del ámbito de aplicación para cubrir más actividades industriales, como la ganadería intensiva y la fabricación de baterías a gran escala<sup>1</sup>.

Asimismo, la DEI, desde su implantación, ha conseguido la coordinación europea de políticas medioambientales, y ha fomentado un enfoque más armonizado de la regulación de emisiones, lo que asegura una competencia más justa y que protege el medioambiente de manera más uniforme, ya que exige que las instalaciones industriales obtengan permisos específicos para operar. Las condi-

---

<sup>1</sup> Se pueden obtener más detalles sobre la última actualización de la DEI [aquí](#)

ciones para poder operar que establecen estas licencias incluyen los límites de emisiones, el tratamiento de vertidos y otras medidas de protección ambiental. Los permisos deben revisarse periódicamente, garantizando que las tecnologías y prácticas sigan siendo acordes con los avances tecnológicos. Para ello, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) trabaja estrechamente con las autoridades medioambientales de los Estados miembros para asegurar que se implementen y cumplan las normativas establecidas por la DEI<sup>2</sup>. En España, el responsable de la aplicación de la DEI es el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)<sup>3</sup>. En el caso de Irlanda es la Agencia de Protección Medioambiental (EPA, por sus siglas en inglés)<sup>4</sup>.

Este artículo se centra en presentar la aplicación de la política medioambiental en Irlanda. A continuación, introducimos cómo la EPA irlandesa ejecuta sus funciones y asegura el cumplimiento de las normativas establecidas por la DEI; y más adelante presentamos un análisis económico del impacto que la realización de su gestión tiene en el comportamiento de las entidades reguladas.

## 2. LA AGENCIA DE SUPERVISIÓN MEDIOAMBIENTAL EN IRLANDA

En Irlanda, la EPA es la autoridad competente para otorgar las licencias medioambientales a las instalaciones industriales y agrícolas que están dentro de la regulación, y para asegurar que estas cumplen con las normativas vigentes<sup>5</sup>. En la actualidad, Irlanda tiene algo más de 800 instalaciones con permisos para operar. La estrategia de la EPA para que estas plantas industriales se adhieran a los criterios y límites establecidos en las licencias se centra en valorar el riesgo y el resultado medioambiental de cada instalación. La EPA utiliza los resultados de estos análisis, que lleva a cabo de manera sistemática, para priori-

---

2 Para obtener más información sobre la AEMA ver [aquí](#)

3 Para obtener más información sobre MITECO ver [aquí](#)

4 Para visitar la página oficial de la EPA ver [aquí](#)

5 Las actividades que requieren un permiso están expuestas en el [Primer Anexo de la Ley de la Agencia de Protección Medioambiental de 1992](#), según enmendada; y en el Tercer y Cuarto Anexo de la Ley de Gestión de Residuos de 1996, según enmendada.

zar el uso y asignación de sus recursos, con lo que se acaba dedicando más acciones supervisoras, tales como inspecciones, a esas plantas industriales que representan un mayor riesgo para la salud humana y/o el medioambiente, (EPA, 2019).

La EPA tiene dos maneras formalizadas de evaluar el riesgo medioambiental de cada planta industrial. Por un lado, se evalúa con un ciclo anual el cumplimiento de todos los criterios establecidos en las licencias usando la metodología llamada *Risk-Based Methodology for Enforcement (RBME)*, la cual tiene en cuenta el historial de infracciones de cada instalación durante los doce meses anteriores, y se utiliza para determinar la frecuencia de inspecciones rutinarias a cada instalación durante el año siguiente<sup>6</sup>. En concreto, este documento establece que, siguiendo lo que viene decretado por la DEI, el intervalo entre inspecciones rutinarias no debe exceder un año para las instalaciones consideradas de alto riesgo y tres años para las instalaciones de bajo riesgo. Por eso, la metodología *RBME* es importante, ya que asigna la clasificación de riesgos a cada instalación industrial.

Por otro lado, la EPA utiliza otra metodología para identificar las plantas industriales que representan un riesgo medioambiental más inminente por presentar un peor cumplimiento con lo dictado en las licencias en el corto plazo. Esta metodología culmina con la publicación trimestral de una lista con los llamados *National Priority Sites (NPS)*, o instalaciones de prioridad nacional<sup>7</sup>. Las instalaciones que alcanzan el umbral establecido aparecen en la lista durante al menos los tres meses siguientes, y están sujetas a un mayor escrutinio y a una escalada de acciones de supervisión en relación con lo establecido bajo la evaluación de riesgos anual *RBME* hasta que su puntuación vuelva a estar por debajo de dicho umbral (EPA, 2021)<sup>8</sup>.

Por lo tanto, aquellas instalaciones con mayores riesgos e incumplimiento con sus licencias acaban estando más expuestas a las autoridades supervisoras medioam-

6 Los últimos criterios para la evaluación de riesgos se describen en el informe del Modelo de Riesgo *RBME* Revisado 2020.

7 Esta metodología tiene en cuenta todas las infracciones incurridas en los seis meses previos. Los criterios para la inclusión en la *NPS* están publicados en la página web de la EPA, [Preguntas frecuentes relacionadas con las Plantas de Prioridad Nacional — Agencia de Protección Ambiental \(epa.ie\)](https://www.epa.ie/en/about-us/what-we-do/our-services/national-priority-sites/).

8 En el año 2022, 13 instalaciones fueron incluidas al menos una vez en la lista, y la mayoría pertenecían a la industria alimentaria y de bebidas, o la de residuos.



bientales, que ejercen su autoridad utilizando varias medidas de monitoreo y supervisión. Estas medidas incluyen el registro de infracciones, incidentes, quejas o la apertura de investigaciones por infracción. El proceso por el cual una planta empieza a estar más escrutada por los inspectores suele empezar con el envío de notificaciones de infracción a las instalaciones cuando se incumple una de las cláusulas establecidas en la licencia. Las infracciones se suelen detectar porque o bien son comunicadas por las instalaciones mismas, o bien son encontradas por los inspectores durante una inspección. En la notificación se instruye a la instalación a que tome medidas para abordar el problema. Si la causa del problema es compleja, o si la respuesta del operador no es rápida o efectiva, los inspectores pueden abrir una investigación. En casos extremos, se llegan a abrir pleitos a las empresas con el objetivo final de que un juez dictamine cada caso, lo cual suele resultar en multas, pero también se puede llegar a la revocación de licencias y derechos a seguir operando.

Otro ángulo de operación por parte de la EPA es el monitoreo de las tendencias a nivel sectorial, y que trata de identificar riesgos ambientales a nivel de industria, con lo que se establecen planes de supervisión específicos según sea necesario. Esto suele conllevar la planificación de inspecciones adicionales para varios sectores en función de los problemas prioritarios a tratar dentro del sector (EPA, 2021).

Desde un punto de vista económico, resulta importante entender el impacto que las principales acciones de supervisión tienen sobre el comportamiento medioambiental y el cumplimiento con la ley de las entidades industriales con licencia para operar. Por eso, a continuación, presentamos los resultados de un análisis empírico que trata de identificar y cuantificar la efectividad de la actividad de la EPA en Irlanda.

### **3. EL IMPACTO DE LA SUPERVISIÓN MEDIOAMBIENTAL EN EL COMPORTAMIENTO DE PLANTAS INDUSTRIALES EN IRLANDA**

Para adentrarnos en el ámbito de la investigación económica que se centra en estudiar el impacto de las políticas medioambientales, a continuación, presen-

tamos una pequeña introducción de los estudios económicos más relevantes, y seguimos la sección con una exposición de los resultados encontrados en el estudio Alvaro Taús y Curtis (2024) para el caso de Irlanda.

### 3.1. Introducción a la literatura relacionada

Dentro del campo de la economía pública, el origen de las teorías económicas que estudian los impactos de la imposición de leyes medioambientales se funda en el trabajo seminal de Becker, que aplica principios económicos al estudio del comportamiento criminal (Becker, 1968). Becker argumenta que los individuos deciden cometer delitos basándose en un cálculo racional de costes y beneficios, y, por lo tanto, establece que las decisiones delictivas pueden ser entendidas como una forma de maximización de la utilidad, similar a otras decisiones económicas. Para ello, el individuo compara la probabilidad de ser descubierto y la dimensión de la pena con las posibles recompensas del crimen.

A partir de ahí, son otros trabajos los que se encargan de adaptar esta teoría económica al contexto medioambiental. Dos ejemplos importantes son Russell *et al.* (1986) y Harrington (1988), que establecen un marco teórico para entender cómo la política medioambiental influye en el cumplimiento con la ley de las entidades sujetas a tales normativas. Estos trabajos establecen que una instalación industrial elegirá no cumplir con la normativa mientras los beneficios sean mayores que los costes. Para una planta industrial, la ganancia económica viene dada por el menor esfuerzo incurrido en mitigar los daños por contaminación. A la vez, los costes potenciales dependen del valor esperado de las sanciones regulatorias, que a su vez dependen de la probabilidad de que se descubran y de la magnitud de la multa si se descubre la infracción. De ahí que se haya vuelto percepción que las autoridades ambientales utilicen acciones impositivas y de supervisión como las principales herramientas para incrementar la probabilidad de que se descubran las infracciones medioambientales, y, por tanto, aumente esa percepción entre las entidades reguladas.

La literatura empírica que surge a raíz de estos trabajos analiza los efectos disuasorios de la aplicación de normas regulatorias y la supervisión medioambiental.

Los primeros estudios llevados a cabo para los Estados Unidos ya mostraron que acciones de supervisión e implantación de la ley, como por ejemplo la frecuencia de las inspecciones y la magnitud de las sanciones, tienen un efecto significativo en la reducción del incumplimiento de las normas ambientales, así como en las emisiones y los vertidos contaminantes en sectores como el de la producción de pulpa y papel, o en el de la siderurgia (Magat y Viscusi, 1990; Gray y Shadbegian, 2005; Deily y Gray, 2007; Shimshack y Ward, 2005, 2008).

Más recientemente, la literatura empírica ha incorporado facetas clave de la actividad supervisora actual. En concreto, muchos estudios se centran en tener en cuenta que los supervisores medioambientales han pasado a utilizar medidas más dinámicas en la ejecución de su actividad (llamado *dynamic enforcement* en inglés). La aplicación más habitual es la de que los supervisores consideren el historial de infracciones reciente al asignar los recursos de supervisión para cada planta, por ejemplo, para decidir el número de inspecciones que se van a llevar a cabo en los próximos meses. Según estudios como Evans (2016); Blundell *et al.* (2020); Blundell (2020); Kang y Silveira (2021); Johnson *et al.* (2023), estos incentivos dinámicos desempeñan un papel importante en impulsar las decisiones de cumplimiento con la ley entre las plantas siendo supervisadas, ya que con estas medidas se consigue aumentar la presión a esas empresas con un comportamiento más perjudicial para el medioambiente.

Otra rama de la literatura estudia la presencia de efectos heterogéneos entre industrias y regiones en lo que respecta al cumplimiento de las normas. Por ejemplo, Gray y Shadbegian (2005) encuentra que incluso dentro del mismo sector y período (fábricas de pulpa y papel en la década de los ochenta), los efectos sobre el comportamiento de las empresas cambian según la subcategoría industrial, el tamaño y la estructura de propiedad. Hanna y Oliva (2010) encuentra que la respuesta a las exigencias medioambientales de cada industria depende de los costes a incurrir para lograr una disminución en el nivel de emisiones. En cuanto a la disparidad en las respuestas a la supervisión a nivel regional dentro de un mismo país, la literatura encuentra que estos efectos son más evidentes en países grandes, como los Estados Unidos o China, debido a la descentralización de la supervisión de políticas medioambientales (Oates, 1998; Faure y Johnston, 2009).

Es importante destacar que, aunque en este artículo hayamos nombrado solamente unos pocos, la mayor parte de la literatura se centra en la experiencia de los Estados Unidos, y que en comparación existe un número bastante reducido de estudios que exponen el caso de otros países. Algunos de estos son Tosun (2012); Telle (2013); Almer y Goeschl (2010, 2015); Laplante y Rilstone (1996); Duflo *et al.* (2018); Eckert (2004); Earnhart (2000)<sup>9</sup>. El trabajo que se presenta a continuación puede añadirse a esta última lista por ofrecer resultados específicos para el caso de Irlanda, y además contribuye a la literatura mediante el uso de datos novedosos, a los cuales se ha tenido acceso por primera vez en esta investigación, lo que aporta originalidad al estudio.

### 3.2. Datos de supervisión medioambiental en Irlanda

El conjunto de datos que utilizamos para el análisis proviene de los sistemas internos de la EPA y resumen su actividad de supervisión y monitoreo entre los años 2016 y 2019. Las variables de interés para nuestro análisis son el número de inspecciones y de infracciones de cada planta industrial regulada por la EPA, que son las que se presentan en la figura 1. La figura 1a muestra el número de plantas con licencia medioambiental para operar en cada sector, con los sectores ordenados en función de su tamaño. Observamos que los mayores sectores son los de la agricultura intensiva, seguido por la industria alimenticia, y las plantas de tratamiento de residuos no tóxicos.

La imagen de la izquierda en la figura 1b muestra el número total de infracciones e inspecciones registradas durante este mismo periodo, mientras que el gráfico de la derecha muestra las mismas dos variables divididas por el número de plantas en cada sector. La comparativa de estas dos variables en ambos gráficos sugiere que la EPA destina más recursos a aquellos sectores que suponen un mayor riesgo al medioambiente, ya que los sectores con un mayor número de infracciones reciben más inspecciones. Estos gráficos también apuntan a que los sectores con un peor desempeño medioambiental son el de la industria alimentaria y los centros de transferencia de residuos no tóxicos, hecho que también investigamos y verificamos en el análisis empírico.

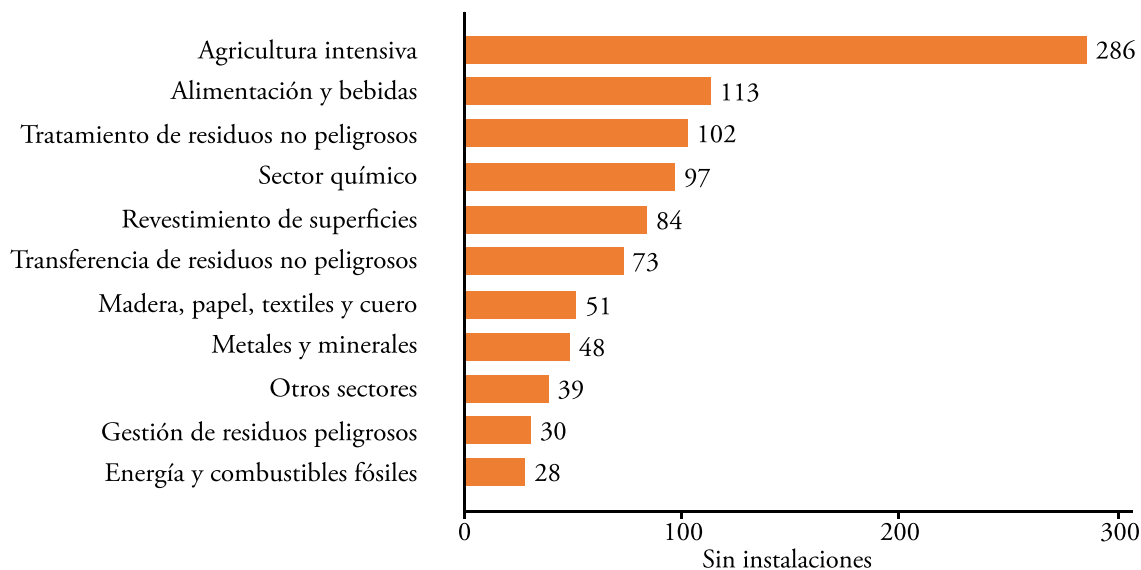
---

<sup>9</sup> Gray y Shadbegian (2021); Shimshack (2014) son dos artículos que resumen todo lo relacionado con la literatura de economía pública relacionada con la política medioambiental.

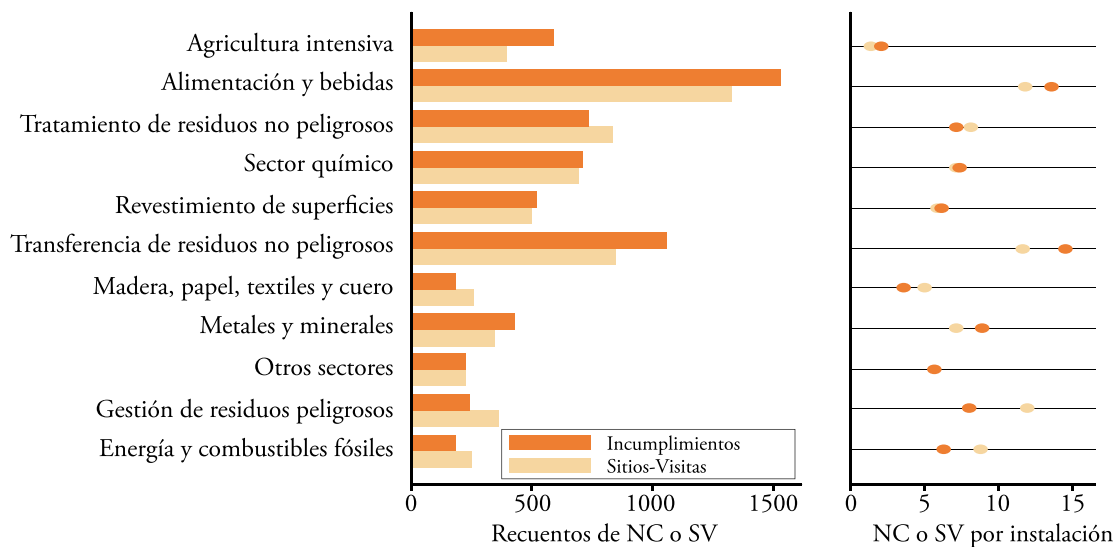
Figura 1

## Resumen por sector industrial de los datos

### a. Número de licencias



### b. Infracciones e inspecciones



A su vez, observamos que hay algunas excepciones en esta relación entre infracciones e inspecciones. Por ejemplo, la industria de tratamiento de residuos no tóxicos, la de gestión de residuos tóxicos, o la de energía y combustibles fósiles parecen recibir, en comparación, más inspecciones por planta que infracciones se cometen. Esto podría estar relacionado con la política de la EPA, la cual, como ya hemos mencionado, incorpora factores específicos a nivel de industria cuando se desarrollan los planes de inspección. Algunos de estos factores específicos, por mencionar algunos, son que el riesgo de infracciones sea conocidamente más alto en un sector dado debido al comportamiento intrínseco de las plantas que tienden a no cumplir con las normas, o que existan riesgos elevados de incidencias peligrosas y que puedan tener un impacto más dañino en el medioambiente.

### 3.3. Análisis empírico: la efectividad de las inspecciones medioambientales

En este apartado resumimos los resultados del estudio empírico que llevamos a cabo en Alvaro Taús y Curtis (2024), en el que se encuentra evidencia empírica de que la política de inspecciones aplicada por la EPA es efectiva, y contribuye a la mejora en el comportamiento medioambiental de las plantas industriales en Irlanda.

#### 3.3.1. Metodología

Para cuantificar el impacto de las inspecciones medioambientales en el comportamiento infractor de las plantas industriales se estiman un conjunto de regresiones utilizando diversos métodos empíricos, de los cuales la regresión de referencia base toma la forma siguiente:

$$NC_{it} = \alpha + \sum_{k=1}^6 \gamma_k SV_{i,t-k} + \beta_1 NC_{i,t-4} + \beta_2 Sec_i + \beta_3 Reg_1 + \beta_4 d_t + \beta_5 d_i + \epsilon_{it} \quad [1]$$

$NC_{it}$  y  $SV_{i,t-k}$  representan las infracciones y las inspecciones de la planta  $i$  en el periodo  $t$ , respectivamente. Es bien conocido que hay un problema de causalidad inversa (o de endogeneidad) entre las inspecciones y las infracciones en

un mismo período, por eso y siguiendo la metodología adoptada en otros estudios relacionados, aquí solo se utilizan niveles retardados de las inspecciones (Magat y Viscusi, 1990; Deily y Gray, 2007; Gray y Shadbegian, 2005). También incluimos otras variables explicativas para controlar las características intrínsecas de las empresas y otras tendencias comunes que les puedan afectar a todas a la vez, y que pueden llevar a problemas de sesgo de variables omitidas si no se incluyen. Estas variables de control son los efectos fijos a nivel individual ( $d_i$ ), de región ( $Reg_i$ ), de sector ( $Sec_i$ ) y de tiempo ( $d_t$ ).

Para la inferencia del modelo en [1] usamos modelos de datos de recuento tales como Poisson, Hurdle y Zero-Inflated Poisson. Aunque en este artículo no vamos a entrar en los detalles técnicos, las diferentes especificaciones y la metodología se pueden consultar en el artículo original (Alvaro Taús y Curtis, 2024).

### 3.3.2. La probabilidad de infracción según las inspecciones recibidas

En el estudio se encuentra que las inspecciones medioambientales contribuyen significativamente a mejorar el comportamiento de las entidades industriales reguladas en Irlanda, pero que una vez una planta ha pasado a infringir alguna de las normativas establecidas en la licencia, les lleva tiempo el volver a cumplir plenamente con todas las condiciones establecidas en ella.

Por ejemplo, los resultados sugieren que cuando se comparan instalaciones industriales que fueron inspeccionadas al menos doce meses antes con aquellas que no fueron inspeccionadas en el mismo periodo, el riesgo de infracción actual es casi un 20 % menor para aquellas que si fueron inspeccionadas. No obstante, los hallazgos indican que puede llevar más de un año para que una planta que está infringiendo las normativas vuelva a cumplir con las regulaciones establecidas, aun cuando estas empiezan a enmendar sus errores con prontitud en respuesta a las demandas de los inspectores. Esto se suele deber a que a las empresas requieren tiempo para poder invertir en nuevas tecnologías o implementar nuevos procesos que los lleven a cumplir plenamente con sus obligaciones, aunque también puede deberse a una cultura perjudicial dentro de la misma empresa.

Para poder visualizar estos efectos incluimos la figura 2, que nos muestra en gráficos el resumen de los resultados provenientes de la estimación de un modelo Hurdle. En el panel (a) se muestran las probabilidades medias de infracción cuando se asume que todas las plantas han recibido al menos una inspección en el periodo señalado por el retardo. Por ejemplo, si el retardo es  $SV(t-1)$ , la cifra dada, en este caso 55 %, se refiere a la probabilidad de encontrar alguna infracción, suponiendo que todas las plantas fueron inspecciones en el trimestre anterior. Se observa que las probabilidades de violación disminuyen con el tiempo. La más baja se encuentra en el sexto retardo, y es de un 46 %. Como ya anticipamos, esto quiere decir que las empresas mejoran su comportamiento a medida que nos alejamos de la fecha en que recibieron la inspección. Esto también se refleja en el panel (b), que nos muestra que el efecto por cada inspección adicional también aumenta con el tiempo. Por ejemplo, la caída en infracciones es del 4 % y 2 % por inspección cuando estas se dieron cinco y seis trimestres por adelantado, mientras que el efecto es despreciable e insignificante en períodos más cercanos.

Cabe destacar que aunque el coeficiente positivo de las inspecciones del trimestre anterior (*i.e.* en el primer retardo  $SV_{t-1}$ ), parezca sugerir que estas causan un incremento en el número de infracciones, este resultado tiene que ponerse en contexto con las políticas de *dynamic enforcement*, o incentivos dinámicos de los que hablábamos al comienzo del artículo, por los cuales se dedican más recursos a esas empresas en las que se observa un peor resultado medioambiental reciente. Así que lo que este resultado identifica es el hecho de que, gracias a esta política, los inspectores medioambientales son capaces de detectar más infracciones en el muy corto plazo, y que es solo a partir de ese primer trimestre cuando los efectos positivos de las inspecciones en la mejora del comportamiento se empiezan a observar en los coeficientes, que en algún momento pasan a ser negativos.

### 3.3.3. Los riesgos medioambientales según el sector

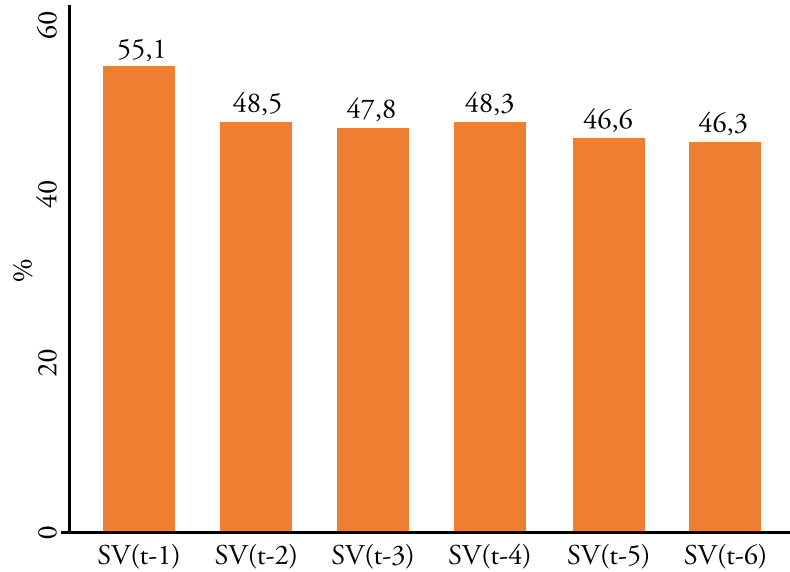
Nuestro análisis empírico también identifica riesgos ambientales a nivel sectorial. La estimación de un modelo de exceso de ceros (*Zero Inflated Poisson*) nos permite, por una parte, identificar la probabilidad de que las entidades dentro de cada sector estén en cumplimiento estricto de las normas; y por otra, estimar la



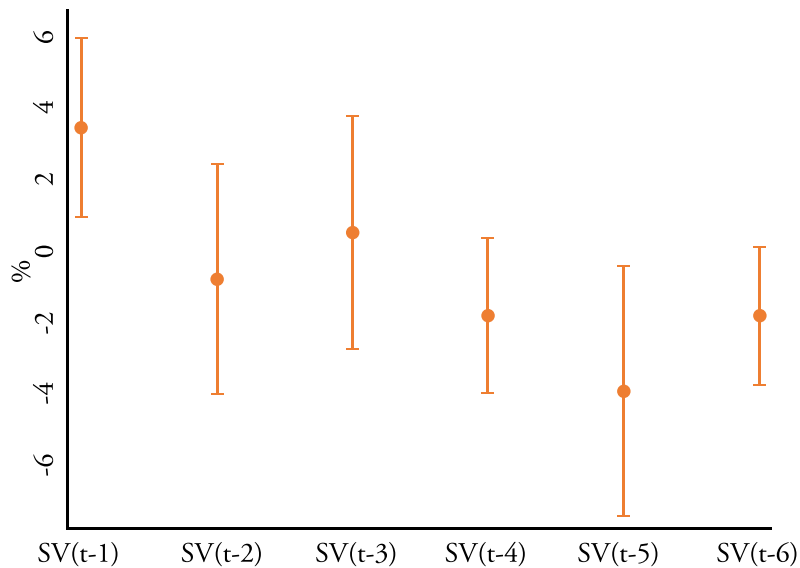
Figura 2

## Resultados de un Hurdle Modle

## a. Probabilidades de infracción (Modelo de decisión binaria)



## b. Cambio en el número infracciones por inspección adicional (Modelo truncado en cero)



Nota: Los intervalos de confianza en el panel b son del 95 %.

probabilidad media de incumplimiento de cada sector. Una vez obtenidos estos podemos identificar los sectores que suponen un mayor o menor riesgo para el medioambiente. Estos resultados se presentan en la tabla 1.

Como se puede ver en la penúltima columna (“No cumplimiento”), las industrias de menor riesgo medioambiental según su probabilidad de infracción son los sectores de agricultura intensiva (5 %), y madera, papel, textil y cuero (13 %), mientras que las industrias que presentan un mayor riesgo ambiental son la alimentaria y de bebidas (34 %), y las estaciones de transferencia de residuos no-tóxicos (31 %).

Asimismo, hay otros sectores que se sitúan en un término intermedio, y aunque su probabilidad de infracción es más baja que la de los sectores de riesgo alto, estas pueden tener un impacto negativo importante debido a que presentan una proporción relativamente baja de plantas que cumplen estrictamente con las normativas. La probabilidad de que las plantas cumplan estrictamente con las licencias viene dada por la primera columna en la tabla (la que llamamos “Cumplimiento estricto”), y esta nos marca que son sectores como el de la energía y combustibles fósiles (23 %), y el de productos químicos (47 %), los que se sitúan en esta categoría.

Para terminar con el análisis, la última columna de la tabla presenta la media de inspecciones por instalación en cada sector; esta medida ya la habíamos visto al principio en la figura 1. Cuando comparamos esta medida con la probabilidad estimada de incumplimientos (columna “No cumplimiento”), observamos que la EPA parece haber ejecutado una política bastante alineada con los riesgos medioambientales aquí inferidos. De hecho, la industria alimentaria y las estaciones de transferencia de residuos no tóxicos recibieron el mayor número de inspecciones por planta, mientras que la de agricultura intensiva es la que menos recibió acorde con su bajo riesgo de contaminación. No obstante, hay algunas otras en las que, quizá, la EPA podría hacer más hincapié basándose en nuestras estimaciones, tales como el sector de metales y minerales, el cual recibió un número de inspecciones bastante más bajo que otros con un perfil de riesgo medioambiental similar.

## 4. CONCLUSIONES

En este artículo hemos expuesto los principios básicos con los que se regulan las emisiones industriales en Europa, y hemos utilizado el caso de Irlanda para presentar como se implementa la Directiva de Emisiones Industriales que viene dictaminada por la Unión Europea.

Tabla 1

### Probabilidades de infracción por sector, 2016-2019

	Cumplimiento estricto prb = Prob (C = 1)	Riesgo percibido de NC 1 - prb	Cumplimiento general Prob(NC = 0)	No cumplimiento Prob(NC > 0)	Visitas por Instalación
Alimentación y bebidas	0.45	0.55	0.66	0.34	11.78
Centros de transferencia de residuos no tóxicos	0.50	0.50	0.69	0.31	11.63
Metales y minerales	0.47	0.53	0.73	0.27	7.15
Gestión de residuos tóxicos	0.55	0.45	0.75	0.25	11.93
Energía y combustibles fósiles	0.23	0.77	0.75	0.25	8.79
Química	0.47	0.53	0.77	0.23	7.16
Otros	0.66	0.34	0.78	0.22	5.69
Gestión de residuos no tóxicos	0.63	0.37	0.81	0.19	8.14
Recubrimiento de superficies	0.61	0.39	0.82	0.18	5.90
Madera, papel, textil y cuero	0.47	0.53	0.87	0.13	5.02
Agricultura intensiva	0.87	0.13	0.95	0.05	1.36

Nota: : Las estimaciones provienen de un modelo binario en un *Zero Inflated Poisson*. Los sectores están ordenados por la probabilidad de infracción (columna Prob(NC) > 0).

Desde un punto de vista económico, el estudio de los efectos de la política medioambiental en el comportamiento de las empresas es importante, por una parte, porque determina la efectividad de la actividad del regulador público (y, por tanto, determina el buen uso de los fondos públicos) y por otra, porque de su efectividad depende el bienestar y la salud pública.

La evidencia empírica que aquí hemos presentado para el caso de Irlanda nos demuestra que la supervisión medioambiental juega un papel importante en el cumplimiento de las leyes. Y aunque cabe destacar que existe un nivel de cumplimiento alto por parte de las instalaciones industriales con las normativas y condiciones establecidas en las licencias medioambientales, en Irlanda y otros países industrializados, la actividad del supervisor es especialmente importante a la hora de identificar las plantas con peor desempeño medioambiental, ya que una vez estas pasan a infringir la ley, lleva tiempo hacerles retornar al buen camino. Además, nuestro estudio sugiere que la adopción de incentivos dinámicos debe jugar un papel fundamental en el proceso de planificación de la política de supervisión medioambiental, dado que contribuye a la efectividad del regulador. En consecuencia, la evidencia indica que las autoridades competentes en Europa deben continuar reforzando la implementación de tales medidas con el fin de incrementar su eficacia en la disminución de emisiones industriales.

## REFERENCIAS

- ALMER, C., y GOESCHL, T. (2010). Environmental crime and punishment: Empirical evidence from the german penal code. *Land Economics*, 86(4), 707–726. ISSN 00237639. doi: 10.3368/le.86.4.707. <https://about.jstor.org/terms>
- ALMER, C., y GOESCHL, T. (2015). The Sopranos Redux: The Empirical Economics of Waste Crime. *Regional Studies*, 49(11), 1908–1921. ISSN 13600591. doi: 10.1080/00343404.2013.854323.
- ALVARO TAÚS, M., y CURTIS, J. (2024). *The Impact of Environmental Enforcement on Licensees' Behaviour in Ireland*. <https://papers.ssrn.com/abstract=4653137>
- BLUNDELL, W. (2020). When threats become credible: A natural experiment of environmental enforcement from Florida. *Journal of Environmental Economics and Management*, 101, 102288. ISSN 10960449. doi: 10.1016/j.jeem.2019.102288. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.102288>

BLUNDELL, W., GOWRISANKARAN, G., y LANGER, A. (2020). Escalation of scrutiny: The gains from dynamic enforcement of environmental regulations. *American Economic Review*, 110(8), 2558–2585. ISSN 19447981. doi: 10.1257/AER.20181012. URL <https://doi.org/10.1257/aer.20181012>

DEILY, M. E., y GRAY, W. B. (2007). Agency structure and firm culture: OSHA, EPA, and the steel industry. *Journal of Law, Economics, and Organization*, 23(3), 685–709. ISSN 87566222. doi: 10.1093/jleo/ewm018. <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/jleo23&id=691&div=36&collection=journals>

DUFLO, E., GREENSTOE, M., PANE, R., y RYAN, N. (2018). The Value of Regulatory Discretion: Estimates From Environmental Inspections in India. *Econometrica*, 86(6), 2123–2160. ISSN 0012-9682. doi: 10.3982/ecta12876.

EARNHART, D. (2000). Environmental Crime and Punishment in the Czech Republic: Penalties against Firms and Employees. *Journal of Comparative Economics*, 28(2), 79–399. ISSN 01475967. doi: 10.1006/jcec.2000.1652. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147596700916524>

ECKERT, H. (2004). Inspections, warnings, and compliance: The case of petroleum storage regulation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(2), 232–259. ISSN 00950696. doi: 10.1016/S0095-0696(03)00079-2.

EPA. (2019). Compliance and Enforcement Policy. Technical report, 2019. URL <https://www.epa.ie/publications/compliance--enforcement/licensees/performance/compliance-and-enforcement-policy.php>

EPA. (2021). Environmental Inspection Plan 2022-2025. Technical report, 2021.

EVANS, M. F. (2016). The Clean Air Act Watch List. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 3(3), 27–665. doi: 10.2307/26544426.

FAURE, M. G., y JOHNSTON, J. S. (2009). The Law and Economics of the Environmental Federalism: Europe and the United States Compared. *Virginia Environmental Law Journal*, 27. <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/velj27&id=211&div=16&collection=journals>

GRAY, W., y SHADBEGIAN, R. (2021). Economics of Environmental Compliance and Enforcement. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, 6. doi: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.444. <https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-444>

GRAY, W. B., y SHADBEGIAN, R. J. (2005). When and why do plants comply? Paper mills in the 1980s. *Law and Policy*, 27(2), 238–261. ISSN 02658240. doi: 10.1111/j.1467-9930.2005.00199.x.

HANNA, R. N., y OLIVA, P. (2010). The impact of inspections on plant-level air emissions. B.E. *Journal of Economic Analysis and Policy*, 10(1). ISSN 19351682. doi: 10.2202/1935-1682.1971. URL <http://www.bepress.com/bejeap/vol10/iss1/art19>

HARRINGTON, W. (1988). Enforcement leverage when penalties are restricted. *Journal of Public Economics*, 37(1), 29–53. ISSN 00472727. doi: 10.1016/0047-2727(88)90003-5.

JOHNSON, M. S., LEVINE, D. I., y TOFFEL, M. W. (2023). Improving Regulatory Effectiveness through Better Targeting: Evidence from OSHA. *American Economic Journal: Applied Economics*, 15(4), 30–67. ISSN 1945-7782. doi: 10.1257/APP.20200659. URL <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/app.20200659>

KANG, K., y SILVEIRA, B. S. (2021). Understanding disparities in punishment: Regulator preferences and expertise. *Journal of Political Economy*, 129(10), 2947–2992. ISSN 1537534X. doi: 10.1086/715415.

LAPLANTE, B., y RILSTONE, P. (1996). Environmental inspections and emissions of the pulp and paper industry in Quebec. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31(1), 19–36. ISSN 00950696. doi: 10.1006/jeem.1996.0029.

MAGAT, W. A., y VISCUSI, W. K. (1990). Effectiveness of the EPA's Regulatory Enforcement: The Case of Industrial Effluent Standards. *The Journal of Law and Economics*, 33(2), 331–360. ISSN 0022-2186. doi: 10.1086/467208. <https://www.jstor.org/stable/725367>

OATES, W. E. (1998). Environmental policy in the European Community: harmonization or national standards? *Empirica*, 25(1), 1–13. ISSN 03408744. doi: 10.1023/A:1006832604045/METRICS. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006832604045>

RUSSELL, C. S., HARRINGTON, W., y VAUGHAN, W. J. (1986). *Economic Models of Monitoring and Enforcement: Enforcing pollution control laws*. Washington, DC: Resources for the Future. <https://www.osti.gov/biblio/6147265>

SHIMSHACK, J. P. (2014). The economics of environmental monitoring and enforcement. *Annual Review of Resource Economics*, 6(1), 339–360. ISSN 19411359. doi: 10.1146/annurev-resource-091912-151821. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-resource-091912-151821>

SHIMSHACK, J. P., y WARD, M. B. (2005). Regulator reputation, enforcement, and environmental compliance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(3), 519–540. ISSN 00950696. doi: 10.1016/j.jeem.2005.02.002. [www.elsevier.com/locate/jeem](http://www.elsevier.com/locate/jeem)

SHIMSHACK, J. P., y WARD, M. B. (2008). Enforcement and over-compliance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(1), 90–105. ISSN 00950696. doi: 10.1016/j.jeem.2007.05.003. URL [www.elsevier.com/locate/jeem](http://www.elsevier.com/locate/jeem).

TELLE, K. (2013). Monitoring and enforcement of environmental regulations. Lessons from a natural field experiment in Norway. *Journal of Public Economics*, 99, 24–34. ISSN 00472727. doi: 10.1016/j.jpubeco.2013.01.001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpubeco.2013.01.001>

TOSUN, J. (2012). Environmental Monitoring and Enforcement in Europe: A Review of Empirical Research. *Environmental Policy and Governance*, 22(6), 437–448. ISSN 1756932X. doi: 10.1002/eet. 1582.



# El impacto socioeconómico local de las energías renovables en España: un análisis entre escalas y tiempos

*Jorge Bielsa Callau\**, *Ignacio Cazcarro\*\** y *Guillermo Rodríguez-López\**

## Resumen\*\*\*

La transición hacia las energías renovables es clave para combatir el cambio climático. Sin embargo, es conocido que su implementación en áreas rurales plantea interrogantes sobre sus beneficios locales y por ende sobre su aceptación y, en última instancia, su factibilidad. Este artículo examina parte de esos impactos socioeconómicos para el caso de la energía eólica usando diferentes escalas geográficas y temporales. Partiendo de un enfoque europeo y nacional, descendemos hasta la escala local con casos de estudio realizados en comarcas concretas donde se proyecta desplegar varios parques eólicos. Si la escala geográfica es importante, no lo es menos el marco temporal: saber si los efectos son transitorios o permanentes puede ser determinante. El objetivo de este artículo es explorar y recopilar, con referencias a estudios previos, tanto propios como de otros/as publicados por colegas, los efectos de los despliegues eólicos en términos de empleo-renta y sus implicaciones sobre el desarrollo rural.

Palabras clave: energías renovables, tecnología eólica, *input-output*, empleo y renta, diferentes escalas espaciales y temporales.

---

\* Departamento de Análisis Económico, Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, (España).

\*\* ARAID (Agencia Aragonesa para la Investigación y Desarrollo). Departamento de Análisis Económico, Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, (España).

\*\*\* La gran mayoría de los resultados citados en el trabajo responden a trabajos colaborativos, fruto de los cuales surgieron interpretaciones y debates adicionales, parcialmente plasmados aquí. Los autores agradecen esas conversaciones a todo/as los/as co-autores/as de trabajos previos, así como los comentarios recibidos en el XIX Congreso de la Asociación Española para la Economía Energética (“La transición energética desde una perspectiva económica”, celebrado en Granada, 6-7 de junio de 2024). También agradecen el apoyo a la investigación del Proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación (Ref: PID2019-106822RB-I00) y del Gobierno de Aragón (Ref: S40\_23R).

## 1. INTRODUCCIÓN

La electrificación de la economía es una de las condiciones necesarias del proceso de descarbonización si se quiere mitigar los efectos del cambio climático (Arthington *et al.*, 2018). Las energías denominadas renovables son las que hacen que esa electrificación sin emisiones sea posible a medio y largo plazo. Sin embargo, la instalación de parques renovables implica cambios en los territorios que pueden afectar negativamente a las comunidades locales de diversas formas: cambios en el paisaje y los usos del suelo, ruidos, etc. Una combinación de esos factores puede acarrear potenciales pérdidas sobre las economías locales, por ejemplo, en el turismo de la naturaleza, en el residencial de larga estancia, en las actividades agropecuarias, etc.

Ésa es la razón por la que instalar plantas de generación eléctrica puede no reportar un beneficio socioeconómico neto para los habitantes de esas áreas, o que no necesariamente sea elevado, en un porcentaje importante de los beneficios generados. En el estudio de los impactos de la instalación de energía renovable hay varias cuestiones a tener en cuenta. Primero, la dimensión espacial en la que calculamos el impacto. Por ejemplo, los efectos para el planeta en su conjunto pueden ser muy diferentes de los efectos netos en el área donde realmente se instalan las plantas. Segundo, la dimensión temporal de los impactos, ya que son muy diferentes los efectos durante el tiempo de construcción del parque eólico (probablemente efectos positivos en empleo directo e indirecto) de los que habrá una vez terminada su construcción (principalmente los derivados del mantenimiento). Tercero, los efectos se pueden analizar desde distintas perspectivas: económica, social y ambiental. En todos estos niveles aparecen efectos positivos y negativos, por lo que un análisis completo encierra bastante complejidad.

En este documento nos vamos a centrar más en los aspectos socioeconómicos de la energía eólica, que tienen sus particularidades respecto al resto de fuentes renovables y son los que hemos trabajado más en detalle en los últimos años (Almazán *et al.*, 2024; Cazcarro *et al.*, 2024). En esos trabajos se ha utilizado la metodología *input-output* con tablas multirregionales (en adelante MRIO) con el objetivo de calcular el impacto en producción y empleo sobre las economías locales. El modelo *input-output* (Leontief, 1941) ha sido una herramienta tradicionalmente

utilizada para analizar los efectos de inversiones porque permite cuantificar tanto los impactos directos como los indirectos (derivados de las relaciones intersectoriales) con un número muy limitado de supuestos (Garrett-Peltier, 2017). Además, la versión multirregional de dicho modelo *input-output* permite localizar geográficamente los efectos. Esta mejora metodológica y la capacidad de disponer y manejar grandes bases de datos han marcado un salto cualitativo en la capacidad explicativa de los impactos respecto a versiones más antiguas de esta metodología. Como se verá en las páginas que siguen, esa posibilidad de situar sectorial y geográficamente los efectos permite afinar considerablemente los resultados, aspecto muy importante en el caso que nos ocupa.

En lo que sigue, en la sección 2 presentamos una rápida panorámica de los diferentes contextos de las escalas que se evalúan (nacional, regional y comarcal-local), para seguidamente en la sección 3 comentar los resultados de los estudios seleccionados que consideramos que más pueden servirnos para debatir la cuestión de la generación/mantenimiento (o incluso pérdida) de empleos asociados a los proyectos en eólica. De nuevo procedemos desde la mayor escala a la menor, la más local, concluyendo la sección con una síntesis sobre los multiplicadores de empleo asociados a las demandas de bienes y servicios por las inversiones en la fase de construcción, y con una discusión de los desafíos presentes y futuros. En la sección 4 se presentan las conclusiones y debates, especialmente en torno a las implicaciones directas de dichos resultados.

## 2. CONTEXTOS DE LAS DIFERENTES ESCALAS

Para adentrarnos en el ámbito de la investigación económica que se centra en estudiar el impacto de las políticas medioambientales, a continuación, presentamos una pequeña introducción de los estudios económicos más relevantes, y seguimos la sección con una exposición de los resultados encontrados en el estudio Alvaro Taús y Curtis (2024) para el caso de Irlanda.

### 2.1. Energía eólica en España: impacto nacional

El despliegue acelerado de las energías renovables ha desempeñado un papel esencial en la estrategia de la Unión Europea y de España para hacer

frente a la crisis energética, siendo fundamental para aumentar la seguridad del suministro y obtener precios más asequibles para los consumidores. Esta fuerte apuesta por las energías renovables se ha visto reforzada con la publicación en España de los nuevos objetivos a 2030 previstos en el borrador de PNIEC 2023-2030 (48 % de renovables sobre el uso final de energía, 81% de energía renovable en generación eléctrica), y en Europa con la publicación de la Directiva 2023/243 (42,5 % de renovables sobre el consumo final bruto de energía de la Unión en 2030). De acuerdo con los datos de Red Eléctrica Española (REE, 2024), el parque de generación con fuentes de energía renovables en España a finales de 2023 ascendió a más de 77 GW producido el récord histórico de suponer más de la mitad de la generación total.

En relación con la instalación de energía eólica, la eólica española es la quinta potencia a nivel mundial en el *ranking* de países con mayor potencia eólica instalada y la segunda a nivel europeo. En los últimos años ha avanzado significativamente, superando ya los 30 GW de capacidad instalada<sup>1</sup>, lo que constituye un hito importante para el sector energético y demuestra el compromiso del país con la transición hacia fuentes más limpias y sostenibles. Como se recoge por la AEE (2024), la energía eólica es la tecnología que más aporta al sistema energético español, superando el 23,5 % de la cobertura de la demanda en 2023. No obstante, cabe señalar que los 607,23 MW instalados en 2023 están por debajo de los 5,2 GW anuales necesarios para cumplir con los ambiciosos objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). Para duplicar la capacidad instalada y llegar a los 62 GW, será necesario un esfuerzo continuo y mayores inversiones en energías renovables.

De acuerdo con la (AEE, 2024), el sector eólico en España aporta más de 5.800 millones de euros a la economía española (0,5 % del PIB) y emplea a 40.000 personas en la actualidad, y se prevé que se duplique esta cifra para 2030. Entender bien estas cifras, y lo que se está considerando, es probablemente lo que más

---

<sup>1</sup> Actualmente, en España hay 1.371 parques eólicos distribuidos en 2.056 municipios, con un total de 22.210 aerogeneradores instalados. Además, existen 287 centros de fabricación en 16 de las 17 CC. AA. (47 provincias cuentan con generación eólica, de las cuales 20 generan más de 1 TWh de electricidad). Asimismo, la energía eólica alcanzó un Factor de Capacidad del 23,33 %, lo que implica que operó una media de 2.055 horas equivalentes al año.

investigación requiere para comparar con el resto de los análisis que se presentan aquí. Por ejemplo, de acuerdo con el INE (2024), el sector de “351 Producción, transporte y distribución de energía eléctrica” en su conjunto (i.e., de todas las energías) muestra una ocupación ligeramente inferior a las 40.000 personas. Claramente en los datos de la AEE (2024) y otros análisis similares (AEE, 2023), los empleos considerados no son sólo estrictamente los de la producción eléctrica, sino también los de los sectores auxiliares (además de siempre considerarse efectos inducidos). Sin duda desde el sector se tiene un conocimiento exhaustivo y detallado del tipo de actividades y trabajos asociados a la industria eólica, y esa información, como la del detalle espacial y sectorial de las compras es de muy notable utilidad. En los análisis con tablas y modelos *input-output* que comentaremos, los datos de empleo que se consideran en cada sector son los directos, los reflejados por las estadísticas de empleo en cada sector. Y es con la demanda final, de inversión, etc., utilizando los algoritmos asociados a la cadena de producción, donde obtenemos los empleos directos e indirectos para todos los sectores de las diferentes economías (doméstica, del municipio, comarca o región analizada, y exterior, con detalle para otras regiones). Lógicamente siempre se evita la doble contabilidad y se suelen necesitar cálculos adicionales al *shock* de demanda final de inversión para los consumos directos en el territorio y para la generación de rentas por imposición.

## 2.2. Energía eólica en la Comunidad Autónoma de Aragón: ejemplo de impacto regional

Aragón se ha convertido en la segunda región con mayor potencia instalada en España, tras Castilla y León (AEE, 2024), y se espera que esa expansión continúe en los próximos años. Los valores acumulados en este tipo de energía son superiores a los que le correspondería por población y por territorio, consolidándose como un actor clave en la generación renovable en España (CLENAR, 2021; Cazcarro *et al.*, 2024). Las causas de ese desarrollo tienen que ver con su abundante recurso eólico y con una normativa que facilita este tipo de inversión. En términos de crecimiento, Aragón fue en 2023 la comunidad autónoma con mayor incremento de potencia eólica con 307 MW nuevos, seguida de Castilla-La Mancha (92 MW) y Cataluña (60 MW). La cuestión de la importante hetero-

geneidad regional en términos de posicionamiento relativo y la sostenibilidad en la implantación de energías renovables ha sido estudiada en Gutiérrez-Pedrero *et al.* (2020), analizando las diferencias en atributos (destacando principalmente los ligados a la inversión y al conocimiento ambiental) a la hora de condicionar la expansión de la capacidad de producción de energía renovable en 2004-2017, en particular de la eólica.

Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE-MINCOTUR, 2019), la energía eólica ha generado miles de empleos directos y ha contribuido a la diversificación económica regional. A nivel regional, la Dirección General de Energía del Gobierno de Aragón (DGA, 2021 y 2024) estima que el sector eólico ha sido un motor de cambio, contribuyendo con miles de empleos en la fase de construcción de parques eólicos, aunque, como veremos, la creación de empleos permanentes en la fase de operación es mucho más limitada (Cazcarro *et al.*, 2024).

Por otra parte, es importante destacar que los beneficios, ya sea en términos de empleo (salarios) o las rentas del capital, no se distribuyen de manera uniforme en el territorio. Como señalan Fabra *et al.*, (2024) en su estudio a nivel nacional para España, las características de la energía eólica no son muy propicias para dejar sus efectos de forma distribuida geográficamente. A esa misma conclusión, aunque con diferente metodología, llegamos tanto en Almazán *et al.*, (2024) como en Cazcarro *et al.*, (2024) para el nivel comarcal y autonómico respectivamente.

Nuestros resultados van en la misma línea de otros estudios pioneros sobre estas cuestiones que se han realizado para otras CC. AA. en España (*e.g.* Varela-Vázquez y Sánchez-Carreira, 2015, para Galicia). El despliegue de la energía eólica comenzó en Galicia mucho antes (a mediados de los años 90 del siglo pasado), cuando algunas compañías eléctricas pusieron en marcha proyectos a gran escala para aprovechar sus abundantes recursos eólicos. En dicho trabajo ya se contextualizaba cómo Galicia destacó pronto como una de las principales regiones españolas en términos de capacidad instalada (actualmente se sitúa la cuarta comunidad autónoma en potencia instalada), pero que, sin embargo, su desarrollo en términos de capacidad industrial, así como en innovación y rendimiento tecnológico no ha sido destacable en comparación con otras regiones españolas, como Navarra. (Varela-Vázquez y Sánchez-Carreira, 2014).

### 2.3. Energía eólica en la Comarca del Matarraña: ejemplo de impacto local

La comarca del Matarraña, situada en el sureste de Aragón, tiene una economía basada en la agricultura, la industria agroalimentaria y el turismo, especialmente el residencial (de larga duración). Este último elemento arrastra una cierta importancia relativa del sector de la construcción. Aunque enfrenta problemas de despoblación especialmente en una parte de sus municipios, la comarca en su conjunto ha experimentado una cierta recuperación demográfica en la última década. Ante esos desafíos demográficos, el despliegue de energías renovables puede ser un elemento positivo o negativo para la comarca.



El principal reto que enfrenta el Matarraña es que la parte de los beneficios económicos derivados de la construcción y posterior operación de los parques eólicos que reviertan en la comarca pueden ser limitados tanto a corto como, especial-

mente, a largo plazo. Según Munday *et al.*, (2011), los impactos negativos, como la alteración del paisaje, recaen en las comunidades locales, mientras que –como veremos en la siguiente sección– los beneficios económicos tienden a concentrarse en empresas foráneas (Almazán *et al.*, 2024). Esto genera una tensión en las comunidades rurales que ven alterado su entorno sin recibir una compensación equitativa.

A nivel local, los sectores que más se beneficiarán a corto plazo son la construcción y la hostelería, debido a la afluencia de trabajadores durante la fase de construcción. Sin embargo, una vez completada esta fase, los beneficios a largo plazo son sensiblemente menores y se limitan a la renta por arrendamiento de tierras y los impuestos locales, siendo prácticamente inexistentes en términos de empleo.

### 3. CONCLUSIONES

#### 3.1. España, en el marco del empleo asociado a toda la transición energética

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) presentó un estudio titulado Impacto económico, de empleo, social y sobre la salud del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) (MITECO, 2023). Los resultados obtenidos en dicho estudio provienen de la introducción en el modelo DENIO del flujo de inversiones, el balance energético y los precios de la energía extraídos del modelo TIMES-SINERGIA. Los impactos macroeconómicos se explican por dos efectos principales. El primero es el efecto de la “nueva inversión”, que impulsa la economía a lo largo de las cadenas productivas. El segundo es el efecto del “cambio energético”, que abarca el impulso económico derivado del ahorro energético, la redirección del gasto hacia otros productos y servicios; y el cambio en el *mix* energético (sustitución de combustibles fósiles importados por energías renovables) generando un mayor valor añadido en el país. De hecho, se prevé que la importación de combustibles fósiles disminuya en 67.000 millones de euros entre 2021 y 2030. Estos impactos, a diferencia de los asociados a las inversiones, se mantienen en el tiempo.



En dicho informe se mostró el efecto en el PIB desagregado por tipo de medida, siendo el impacto del PNIEC la diferencia entre el PIB en el Escenario Objetivo y el Escenario Tendencial. El PNIEC generaría un aumento del PIB anual de entre 16.500 y 25.700 millones de euros (un 1,8 % del PIB en 2030). Este impacto positivo se debe principalmente al impulso económico generado por las nuevas inversiones en renovables, ahorro y eficiencia energética, y redes. En el caso de las energías renovables, el impacto se reduce a lo largo del Plan, ya que las inversiones disminuyen y representan un porcentaje cada vez menor del PIB. Por el contrario, los efectos derivados del cambio energético generan un impacto cada vez más positivo con el tiempo.

### 3.2. España, en el marco del empleo sólo asociado a las inversiones eólica

En el trabajo de Tomás *et al.* (2023), realizado para el conjunto de España, se analizó mediante un modelo multirregional *input-output* global la creación de empleo asociada a una inversión de un millón de euros en tecnologías renovables eólicas y solares. Estos resultados se interpretan como multiplicadores de empleo. En la primera parte, se consideraban diversas alternativas para la distribución sectorial de la inversión, mostrando multiplicadores de empleo basados en una estructura sectorial promedio, derivada de estudios previos, principalmente para Estados Unidos (ver Garrett-Peltier, 2017). A partir de ese escenario de referencia, se evalúa cómo podrían cambiar las huellas de empleo y su distribución entre regiones bajo tres escenarios alternativos en función de la dependencia del comercio internacional en sectores clave (optimista, moderado y pesimista). Estos escenarios permitieron comprender los efectos en el empleo de la localización de la producción de componentes electrónicos, maquinaria y equipos.

Así se obtienen los multiplicadores de empleo de las tecnologías eólica y solar instaladas en España, tanto a nivel global como desagregado por regiones. De acuerdo con esas cifras vinculadas a la Base de datos *input-output* global *World Input-Output Database* (WIOD, por sus siglas en inglés), la tecnología eólica genera 23,34 empleos por cada millón de euros invertido, mientras que la solar genera 24,57. Aunque la energía solar genera más empleos en general, la energía eólica sostiene

más empleos en España (8,89 frente a 8,65). Estas inversiones también generan empleos fuera de España: por cada millón de euros invertido en energías solar y eólica se generan 15,91 y 14,44 empleos en el extranjero, respectivamente. Esto confirma la existencia de un vínculo más fuerte con el exterior en las inversiones solares, por ejemplo, con China, que ha liderado la producción de células solares en los últimos años.

Se mostraban también las horquillas de resultados en función de las diferentes composiciones de las inversiones en cada tipo de energía. Las diferencias son pequeñas para la eólica y algo mayores para la solar. Estos resultados se mantienen en rangos plausibles y consistentes. Los multiplicadores de empleo obtenidos estaban en línea con la literatura previa (Fragkos y Paroussos, 2018; Garrett-Peltier, 2017; Pollin *et al.*, 2009; Zafrilla *et al.*, 2019), aunque en general son mayores. Esto se debe a que en este estudio se utilizaba el número total de personas empleadas, incluyendo a los autónomos.

En cuanto a la distribución de empleos, se consideraron dos tipos de análisis: a nivel sectorial y la división entre empleos directos e indirectos. En términos sectoriales, la energía eólica genera más empleos en sectores como la construcción, maquinaria y equipos eléctricos, mientras que la energía solar es más intensiva en sectores de servicios profesionales y productos electrónicos. Para ambas tecnologías, España genera una proporción significativa de empleo en sectores como la construcción, gestión y administración, servicios profesionales y productos metálicos. En contraste, los sectores de productos electrónicos y equipos eléctricos tienen una huella de empleo mucho mayor en el extranjero, especialmente fuera de Europa.

A nivel global, la inversión en energías renovables genera más empleo indirecto que directo. Específicamente, solo el 37 % de los empleos en eólica y el 39 % en solar son directos. Sin embargo, en el caso de las plantas situadas en España, los empleos directos son mayores que los indirectos (58 % en eólica y 62 % en solar), debido a la ubicación local de las actividades intensivas en mano de obra como la construcción.

Una hipótesis clave es el peso de la producción local en sectores específicos. Cuanta más producción se realice en industrias locales, más empleos se generarán en el país con la inversión en energías renovables. Por ello, se evaluaron tres escenarios alternativos (optimista, moderado y pesimista) para ver cómo los cambios en las ratios de importaciones y producción doméstica afectan el empleo generado. A medida que las importaciones aumentaran sobre la producción nacional, el empleo en España disminuiría en favor de otras regiones. Por ello, dependiendo del escenario y las hipótesis, el empleo en España podría reducirse de 12,75 a 6,13 empleos por millón de euros invertido. De forma similar, en el gráfico 5 de Tomás *et al.* (2023) se mostró el cambio porcentual en los multiplicadores de empleo bajo los diferentes escenarios. En los escenarios optimista y moderado, el empleo en España crece un 30 % y 7 %, respectivamente para la eólica, y un 35 % y 12 % para la solar. En el escenario pesimista, España pierde un 15 % de empleo en eólica y un 11 % en solar, mientras que el resto del mundo habría un aumento en ambas.

Con otra metodología muy diferente que presentan en Ortega *et al.*, (2015), Ortega-Izquierdo y Río (2020) calculan *ex post* los efectos sobre el empleo de la inversión en renovables al nivel de la Unión Europea (UE) en el periodo 2008-2016. En la desagregación por países y por tipo de energía, estiman para España una cifra cercana a los 50.000 empleos directos e indirectos derivados de la energía eólica para ese periodo de tiempo.

Los resultados de estas investigaciones llenan un vacío en la literatura al analizar los multiplicadores de empleo de las inversiones en energías renovables en España, en especial para las tecnologías eólica y solar. Los multiplicadores de empleo indican que España puede generar entre 6,13 y 12,75 empleos por cada millón de euros invertido en renovables, con la mayoría de los empleos directos dentro del país. La energía solar genera más empleos en total, pero la eólica sustenta más empleos en España. Además, las energías renovables presentan importantes efectos indirectos en Europa y el resto del mundo, lo que sugiere que las inversiones en España no solo ayudarán a la recuperación nacional, sino también a otras economías europeas.

En resumen, España enfrenta un gran reto en el contexto del Pacto Verde Europeo, y la transición hacia una economía baja en carbono representa una oportunidad para usar las energías renovables como fuente principal en el sistema eléctrico español. Las políticas diseñadas a partir de estos resultados podrían ayudar a la creación de empleos en áreas afectadas por la despoblación siempre que se minimicen los impactos sobre la biodiversidad, las condiciones naturales y el desarrollo socioeconómico de esas áreas.

### 3.3. Nivel regional: Ejemplo principalmente de Aragón (y algún comentario para Galicia)

En el trabajo para Aragón de Cazcarro *et al.*, (2024) abordamos el impacto de las inversiones en energía eólica en Aragón desde una perspectiva socioeconómica, centrándonos especialmente en la creación de empleo y los efectos sobre el valor añadido bruto (VAB). Los hallazgos clave y las conclusiones del estudio fueron las siguientes:

- *Relaciones intersectoriales e interregionales.* El análisis explora cómo los efectos de las inversiones en energía eólica se extienden a través de diferentes sectores económicos y regiones, tanto dentro de Aragón como en el resto de España. La metodología *input-output* multirregional permitió identificar cómo se distribuyen estos efectos a lo largo de las cadenas de valor, lo que es crucial para entender las dinámicas económicas generadas por estos proyectos.
- *Impactos en el empleo y la distribución territorial.* El estudio reveló que las inversiones en energía eólica en Aragón han tenido un impacto positivo moderado en términos de creación de empleo. Durante la fase de construcción de los parques eólicos se generan una gran cantidad de puestos de trabajo temporales. Sin embargo, en la fase de operación y mantenimiento, los empleos se reducen considerablemente. Estos resultados están en línea con investigaciones previas como las de Fabra *et al.* (2024) y otros trabajos similares, que indican que el empleo creado por proyectos eólicos tiende a concentrarse en las fases iniciales de los proyectos.

- *Empleos directos y a corto plazo.* Se ha estimado la creación de empleos directos durante la fase de construcción de los parques eólicos (debida a las compras directas e indirectas derivadas de la inversión), los cuales suelen ser temporales y concentrados en las áreas más cercanas a los proyectos. Se analizaron diferentes escenarios: por un lado, desde la perspectiva de lo proyectado/autorizado/admitidos en tramitación administrativa para su desarrollo, distinguiendo ahí además entre los que requieren autorización regional (menos de 50 MW, que en el momento del estudio se estimaban en ~4.000 MW) y nacional (a partir de ese tamaño, lo cual podría añadir ~5.000 MW adicionales). Por otro, tomando la Perspectiva del Plan Nacional de Energía y Clima (PNIEC) y la temporalidad y distribución geográfica de dichas inversiones (MITECO, 2023), que lleva a un escenario algo menor incluso que aquel en el que sólo se consideran los proyectos autorizados regionalmente por el Gobierno de Aragón (~3.600 MW adicionales). En general, el 26 %-30 % (en función de hipótesis de distribución regional) de los empleos estimados correspondería a la propia región de Aragón (por ejemplo, en el escenario del PNIEC, lo equivalente a ~1.350-1.500 empleos directos e indirectos por año durante 10 años de inversiones).
- *Empleos permanentes limitados.* En la fase operativa, los empleos tienden a ser más estables, pero en número reducido, lo cual genera preocupaciones sobre los beneficios a largo plazo para las comunidades locales. Así, enfatizamos la perspectiva temporal y señalamos que, si nos fijamos estrictamente en los empleos directos del sector de generación de energía eólica, hallamos unos 200 empleos en Aragón, que en los escenarios llegaría aproximadamente a duplicarse (excepto para el escenario más ambicioso de los ~4.000 MW+~5.000 MW, que podría llevar a unos 700 empleos directos en dicho sector asociados a la generación, distribución y transmisión de electricidad. También se pueden estimar otros empleos adicionales asociados a los desplazamientos de trabajadores al territorio, y a efectos inducidos, tanto por las rentas del trabajo generadas como por impuestos y otros pagos asociados a los parques eólicos, que podrían elevar algo las cifras.

- *Generación de valor añadido bruto (VAB)*. La metodología *input-output* utilizada permitiría captar bien los efectos vía remuneración de asalariados y rentas locales (como profundizamos en Almazán *et al.*, (2024), por ejemplo, estudiando el posible aumento en la contribución al VAB regional, particularmente durante las fases de planificación y construcción de los proyectos. Estos efectos presentan también una distribución geográfica desigual, siendo probablemente las comarcas más cercanas a los desarrollos eólicos y las que centralizan determinados servicios clave de ingeniería, arquitectura, finanzas, seguros, etc. (*e.g.* en el caso de Aragón, la capital Zaragoza). Además, la información primaria que tenemos disponible no nos permite directamente captar los efectos de las rentas del capital (y es posible que buena parte de dicho capital, y por lo tanto su remuneración, no estén presentes en la región).
- *Desigualdad territorial en los beneficios*. Un aspecto clave del estudio es la disparidad en la distribución de los beneficios. Mientras que los proyectos de energía eólica generan importantes ingresos para las empresas y empleos temporales para las regiones donde se construyen, los beneficios económicos a largo plazo para las comunidades locales, especialmente las rurales, son más limitados. Esto es consistente con estudios previos sobre el impacto de los proyectos eólicos en áreas rurales, como el trabajo de Munday *et al.* (2011), y los resultados de Fabra *et al.* (2024).

En el estudio de Varela-Vázquez y Sánchez-Carreira (2015), para Galicia, se constataba ya la existencia un creciente interés en cuantificar el impacto de dicho despliegue en las economías regionales, especialmente en aquellas regiones periféricas con bajas tasas de crecimiento y sectores tradicionalmente en declive. Sin embargo, muchos estudios en este campo son meta-análisis o no tienen en cuenta las diferentes dinámicas entre las actividades temporales y permanentes del sector, así como las singularidades regionales.

El objetivo principal de dicho trabajo fue analizar el impacto económico de la energía eólica, en términos de contribución al PIB (con un pico del 1,16 % en 2005) y creación de empleo (alcanzando un máximo del 0,52 % del empleo total regional), aplicando como caso de estudio la región periférica española de

Galicia. Esta cuantificación se abordaba desde una perspectiva regional y sectorial. La metodología se basa en el análisis de las cadenas de valor en cuanto al diseño del desglose de la inversión entre actividades temporales y permanentes, y el enfoque *input-output* para evaluar el impacto económico.

La evidencia empírica destacaba el notable impacto económico sobre el PIB regional y, en menor medida, sobre el empleo. Aunque el sector eólico es intensivo en capital, el empleo aumenta en gran medida en subsectores industriales y actividades intensivas en conocimiento como la I+D. Por ello, de acuerdo con ese trabajo, se consideraba que podría ser una alternativa industrial en regiones periféricas si se elimina la inestabilidad legislativa y se aplican políticas de fomento que fomenten la cadena de valor regional.

En conclusión, el artículo destacaba que la energía eólica tiene el potencial de diversificar las economías de las regiones periféricas y generar empleo, especialmente en sectores industriales y de conocimiento. Sin embargo, su impacto total depende en gran medida de políticas públicas que fomenten el desarrollo industrial local y superen las barreras estructurales existentes en estas regiones.

### **3.4. Nivel comarcal: El Matarraña, Campo de Belchite (en Aragón ambos) y nivel municipal: estudio general para los municipios españoles**

De forma análoga a los estudios mencionados más arriba y siguiendo con el marco MRIO, el estudio para el Matarraña de Almazán *et al.* (2024) nos ha permitido evaluar los efectos de una inversión en eólica estimada en ~215 millones de euros para una cantidad similar de MW. En este estudio estimamos que en el período de construcción se generen, por compras directas e indirectas debido a la inversión, unos 5.000 empleos a nivel global, de los cuales sólo poco más de 100 a tiempo completo equivalente anual se producirían en la comarca. También por ese concepto y para ese momento, el valor añadido finalmente recibido en la comarca escasamente superaría los 5 millones de euros (de entre poco más de 200 millones de euros de valor añadido globalmente). Además, se generan efectos inducidos por la llegada de trabajadores de otras áreas, que en nuestro caso de

estudio los estimamos en ~200 trabajadores que se trasladarían a la zona durante seis meses, con un impacto económico adicional en sectores como la hostelería y el comercio minorista. Este se traduce en un valor añadido de algo más de ~0,8 millones de euros y de una veintena de empleos por año en la zona de estudio. Sin embargo, una parte significativa de los beneficios continúa extendiéndose más allá de la comarca. A largo plazo, el estudio prevé ingresos anuales por alquileres e impuestos que oscilarán entre 0,7-2 millones de euros y una veintena de empleos a tiempo completo por año por mantenimiento y sectores auxiliares (que es posible que no se den directamente en la región de estudio).

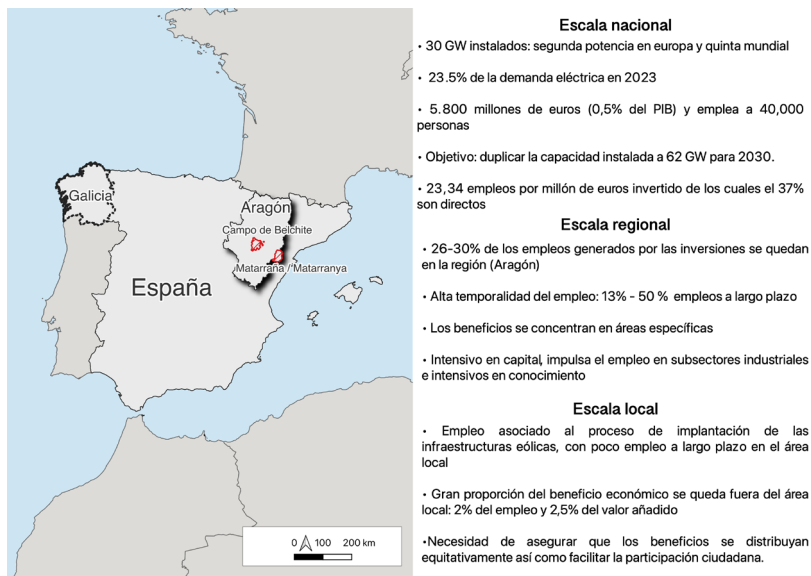
En Duarte *et al.* (2022) se evaluó la percepción de los impactos socioeconómicos de la energía eólica en áreas rurales, con un enfoque basado en encuestas, hallando una gran heterogeneidad de resultados entre expectativas y realidad con respecto a las renovables. En concreto, el trabajo, partía del hecho de que las áreas rurales han atraído una proporción significativa de instalaciones de energías renovables, principalmente energía eólica. Además, se ha señalado explícitamente el desarrollo de energías renovables como un instrumento clave para apoyar las economías rurales a través de la creación de empleo, nuevas fuentes de ingresos para los propietarios de tierras y las autoridades locales, y el impulso a industrias más sostenibles, revitalizando sus sistemas productivos. Sin embargo, la instalación de energías renovables puede tener impactos diferentes en el territorio a corto y largo plazo. El estudio exploró la percepción de los ciudadanos del Campo de Belchite sobre los efectos de las instalaciones de energía eólica en la economía, la demografía y las oportunidades de empleo.

La comarca del Campo de Belchite (Aragón) se utilizó como estudio de caso debido a su desarrollo de parques eólicos. Se investigaron las percepciones de los ciudadanos sobre los efectos socioeconómicos y las expectativas de las energías renovables a partir de sus respuestas a una encuesta en línea. Los resultados mostraban una gran heterogeneidad entre los agentes y territorios, tanto en la evaluación de los impactos como en sus expectativas. El modelo de gestión juega un papel crucial para lograr la aceptación social. Este trabajo contribuyó así con ideas sobre políticas industriales y energéticas que abogan por modelos de gestión más descentralizados, participativos y transparentes. En definitiva, el fomento del desarrollo rural puede beneficiarse del avance de las energías renovables como



potenciales fuentes de crecimiento e ingresos en una economía integrada. Pero los/as autores/as concluían que la aceptación social es clave para el desarrollo de dichas energías renovables.

Finalmente, un análisis exhaustivo de los efectos del despliegue de renovables en los municipios españoles se ha realizado en (Fabra *et al.*, 2024). Analizando datos de más de 3.900 municipios españoles en el periodo (2017-2021), sus resultados muestran, de forma análoga a los propios que referenciamos, pero estudiando econométricamente los efectos *ex post*, que los nuevos puestos de trabajo a menudo no se quedan en las comunidades donde se instalan los proyectos. Los proyectos solares muestran multiplicadores de empleo y desempleo sensiblemente mayores que los eólicos, siendo no significativo el efecto a largo plazo para el caso de la energía eólica. El estudio también señala que, más allá de los impactos en el mercado laboral, los residentes se benefician de las inversiones a través de un mayor gasto público y un aumento del ingreso per cápita. Sin embargo, estos efectos son modestos, en particular en el caso de plantas de tamaño pequeño a mediano. Volveremos a este importante punto más adelante cuando analicemos las implicaciones de estos resultados en términos de economía política.



### 3.5. Síntesis sobre los resultados de los multiplicadores de empleo por MW y/o unidad monetaria de inversión

Los resultados anteriores, especialmente aquellos empleando los modelos multi-regionales *input-output*, sobre los empleos asociados a las inversiones en los años de ejecución, también se pueden poner en el contexto de la literatura mundial (de algunos otros estudios que han analizado aspectos similares, considerando también las diferentes unidades y años estudiados) sobre la relación entre empleos por cada unidad de inversión. Asimismo, hemos hablado siempre de empleos de forma genérica (tratando de no hablar de si hay creación/generación, especialmente por la diferente temporalidad de los mismos), que de forma más abstracta probablemente sería simplemente fuerza de trabajo necesaria para abastecer ese *shock* de demanda de la inversión.

Esto también nos permite no tener que entrar tanto en el debate sobre los números absolutos, que es mucho más dependiente de los escenarios y los caminos reales tomados en cuanto a inversión aportada o lograda. Comentaremos al final de la sección algunas limitaciones e incertidumbres asociadas a esta cuestión.

Volviendo a lo que más nos ocupa en la subsección, en relación a los empleos por unidad monetaria de inversión, para Estados Unidos en Garrett-Peltier (2017) se obtuvieron 7,52 nuevos empleos para energía eólica (y 7,24 en fotovoltaica) por cada 1 millón de dólares, en Pollin *et al.* (2009) 13,3 empleos para energía eólica (y 13,7 en fotovoltaica) por cada 1 millón de dólares. Ambos estudios refieren datos correspondientes a hace aproximadamente o más de una década, y con un tipo de cambio de (1-1,2 dólares por euro).

En Tomás *et al.* (2023) se obtienen 23 empleos totales (a nivel mundial, utilizando el concepto de “contratados”, que incluye empleo temporal, estacional, etc.) por cada millón de euros de inversión en España, siendo entre 6-13 según escenarios, con nueve empleos por euro de inversión en el escenario de referencia.

Para la Comunidad Autónoma de Aragón, en CLENAR (2021) donde también se estiman empleos directos, indirectos e inducidos, se obtuvieron 16 empleos/MW (es decir, algo más de 18 por millón de euros, con su ratio de 1,15 M. euros

por cada 1 MW de inversión) en general para la inversión en eólica en Aragón en el escenario en el que toda la inversión se realiza en Aragón, y 10 empleos/MW (es decir, 11,5 por millón de euros) en el que el 60 % de la misma corresponde a Aragón. En el trabajo de Cazcarro *et al.* (2024), se obtuvo la generación total de ~15 empleos soportados en la cadena por cada millón de euros de inversión (de los cuales algo más de 4 empleos por cada millón de euros de inversión se darían en Aragón, y otros ~4 empleos/1M € en el resto de España. Por tanto, en este caso se obtenía un multiplicador menor que otros en la literatura para la propia región, pero al ser una región más pequeña, parece lógica una mayor tendencia a la apertura comercial y a los efectos “percolación” o “*spillover*” de un determinado aumento de la demanda. Eso sí los impactos en Aragón y España en conjunto estarían muy próximos a las estimaciones de Tomás *et al.* (2023) y el multiplicador total de la inversión en eólica está en el rango de Pollin *et al.* (2009), por encima de Garrett-Peltier (2017) y por debajo de Tomás *et al.* (2023) y CLENAR (2021). El principal resultado de esa parte nos revela que el impacto en la región es menor que la media generada a nivel nacional, por esos efectos *spillover*, de generación de empleos (y rentas) fuera de la región donde se realiza la inversión. Como contraparte, cabe pensar que la región (“resto de España” que será su denominación en ese contexto) también se beneficiará indirectamente, en términos de empleos y rentas, de las inversiones en cualquier región de España.

En Almazán *et al.* (2024) los multiplicadores de empleo regionales y nacionales resultan muy similares a los obtenidos en los citados estudios propios regionales y nacionales. Pero los referidos a los municipios de la propia comarca del Matarraña resultan claramente en menos de 1 (0,68) empleos/1M € asociados a la demanda de bienes y servicios en la cadena de producción, y al consumo directo, durante el período de construcción<sup>2</sup>, siendo los principales empleos asociados a la construcción y sectores auxiliares y la hostelería y restauración (por gasto directo en el territorio). De hecho, ahí se hace más importante (que para los casos regionales y nacionales, donde para el territorio la mayor generación de empleo

<sup>2</sup> Ello no es óbice para que los números agregados sigan siendo consistentes con los obtenidos y ya referidos para Aragón y España. Esto es, en este caso los efectos *spillover* son superiores, pero *e.g.* la media del efecto en el resto de Aragón lleva al total de esos ~4 empleos por cada 1 millón de euros de inversión en Aragón, como fuerza de trabajo necesaria para abastecer ese *shock* de demanda de la inversión.

y rentas se produce con diferencia en el período de construcción) considerar los impactos durante el período de “operación y mantenimiento”: impuestos municipales (específicamente los impuestos especiales), los ingresos por alquiler (arrendamiento del terreno para la instalación de los aerogeneradores) y –en bastante menor medida para muchas zonas pequeñas– el empleo requerido para el mantenimiento de los parques eólicos.

Por último, cabe señalar las limitaciones y sobre todo importantes incertidumbres que van asociadas a este tipo de trabajos, análisis y resultados. En primer lugar, las asociadas a la metodología *input-output* suelen señalarse en torno a la constancia de coeficientes y su baja capacidad para representar grandes transiciones tecnológicas a futuro (*e.g.* el largo o muy largo plazo, siendo que la tecnología y la gestión pueden variar<sup>3</sup>, cosa que no se intentó en los ejercicios anteriores), o algunas de las hipótesis sobre distribución geográfica o de estructura sectorial de las inversiones, que tratamos de solventar, en el primer caso con escenarios, y en el segundo con datos muy precisos de estructuras de compras, a partir de presupuestos reales. En relación con las propias magnitudes de inversión, hemos visto cómo ya ha habido divergencias entre ciertas trayectorias planteadas por el PNIEC y la realidad de las inversiones, y la propia dinámica de las subastas para asegurar nueva capacidad de energía renovable puede llevar a importantes vaivenes en términos absolutos y de distribución regional como los referidos, que *e.g.* en este caso llevaron a Aragón a aumentar enormemente su capacidad.

Pero además el futuro de la inversión privada puede presentar cambios de rumbo. Por ejemplo, en los “Diálogos de Energía y Sostenibilidad” en torno a “Valoración del borrador de actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima español” de esta revista (Linares y G. Sáenz de Miera, coords., 2023<sup>4</sup>) se puso de manifiesto que no hay señales para el mercado, para que el 85 % de

---

3 Por ejemplo, la planificación de las redes eléctricas, como indican Rahimi *et al.* (2013), debe mejorar para gestionar mejor la intermitencia de la generación eólica.

4 Que como es conocido en esta revista, son conversaciones de un grupo diverso, formado por una treintena de personas provenientes de las empresas, del tercer sector, de la administración y de la academia, para profundizar y contribuir a la formulación de las políticas necesarias para alcanzar un modelo energético sostenible para España.

inversión privada tenga lugar, que los precios del mercado eléctrico no incentivarán demasiado la inversión en renovables sin un mercado de largo plazo, con un contexto en el que ya no hay tipos de interés negativos, o con problemas de tramitación. Asimismo, hay que considerar que el propio cambio climático también genera incertidumbre sobre la rentabilidad de las inversiones (Solaun y Cerdá, 2020). De acuerdo con Linares *et al.* (2024), el funcionamiento del mercado europeo de energía eléctrica necesita nuevos instrumentos para fomentar las inversiones en proyectos de energías renovables a gran escala y en almacenamiento, en base a que descenso del precio en los mercados eléctricos aminoró el incentivo a la inversión a largo plazo en la instalación tanto de renovables como de capacidad extra con fuentes complementarias. Adicionalmente en esa línea, los escenarios y trayectorias son susceptibles de variar con todo viraje en relación con las decisiones públicas y privadas. En todo caso los análisis se han tratado de mantener entre el pasado, presente, y futuro a corto y medio plazo; de clarificar siempre a qué tipo de empleo se refiere, y en qué contexto geográfico y temporal nos movemos, usando la metodología transparente y manejando las incertidumbres con análisis complementarios de sensibilidad y robustez.

### 3.6. Integración de las renovables en áreas rurales: desafíos y oportunidades

Todo lo señalado hasta aquí converge a una idea básica, a saber, que el análisis de los efectos de la energía eólica debe tener una granularidad espacial importante y una delimitación temporal concreta. Como hemos señalado más arriba, los beneficios directos e indirectos de la eólica pueden ir lejos de los lugares donde se instala mientras que los costes se quedan en el territorio. Los análisis con gran agregación espacial pueden ocultar este hecho, que por otra parte es muy común en muchos otros problemas ambientales. En concreto, los puestos de trabajo atribuibles a la eólica pueden ser escasos y muy temporales mientras que las actividades económicas perjudicadas o desplazadas afectan directa y permanentemente a la economía local.

Según Munday *et al.* (2011), las energías renovables ofrecen grandes oportunidades para diversificar las economías rurales, pero es esencial que se establez-

can mecanismos de compensación justos para las comunidades que acogen estos proyectos (Cazcarro *et al.*, 2024). Con metodología muy diferente (Fabra *et al.*, 2024) llegan a una conclusión muy similar tras analizar con gran minuciosidad espacial los datos granulares locales de los desarrollos eólicos realizados en España entre 2017 y 2021.

Por otro lado, los estudios de Garrett-Peltier (2017) y Munday *et al.* (2011) refuerzan la necesidad de abordar los impactos en el empleo y la economía local mediante políticas que aseguren la participación de las comunidades rurales en los beneficios derivados de estos proyectos. Por ejemplo, en Aragón, la implementación de parques eólicos ha generado beneficios agregados, pero el desafío reside en cómo distribuir esos beneficios de manera equitativa entre los actores locales y regionales. En línea con Garrett-Peltier (2017), tras los análisis se recomienda que los modelos de negocio incluyan a las comunidades rurales de manera más equitativa para maximizar el impacto positivo (Almazán *et al.*, 2024). Busch *et al.* (2023) y Almazán *et al.* (2024) argumentan que la integración de generación renovable en los mercados energéticos debe optimizarse para garantizar una mayor eficiencia y equidad (*e.g.* en el caso del segundo texto, enfatizando la garantía para consumidores y proveedores de estabilidad de precios).

Munday *et al.* (2011) se centraron en el caso de Gales y ya constataron hace más de una década que, aunque los parques eólicos pueden generar beneficios económicos y ambientales, los resultados sugieren que las áreas rurales no obtienen ventajas económicas significativas debido a la limitada capacidad de la oferta local y la dependencia de proveedores externos. Para mitigar estos efectos, los desarrolladores pueden (y deben) ofrecer beneficios comunitarios, como fondos o mejoras en infraestructura, aunque consideren que se han demostrado insuficientes como herramientas de desarrollo económico a gran escala. Así, el estudio concluía que, aunque los parques eólicos en Gales aportan beneficios económicos moderados y han generado un sistema de beneficios comunitarios, el verdadero potencial para el desarrollo rural está aún sin explotar debido a las barreras estructurales y financieras que dificultan la participación local significativa.

El artículo también destacaba que los flujos de ingresos generados por la propiedad comunitaria de los proyectos eólicos podrían proporcionar mayores benefi-

cios económicos locales en comparación con las prácticas actuales. Sin embargo, en Gales, la posibilidad de implementar esquemas de propiedad comunitaria se enfrentaba a muchos obstáculos, como la falta de financiamiento y apoyo institucional. En consecuencia, los beneficios comunitarios seguían siendo más bien simbólicos en lugar de generadores de oportunidades de desarrollo. En esta línea, aunque centrado en el caso de la energía solar, Pedroza *et al.* (2022) recopilan varios estudios de caso y revisan los antecedentes de las comunidades solares desde las primeras iniciativas reportadas para comprender los conflictos e intereses que se fueron desarrollando en la generación de energía comunitaria distribuida.

Volviendo a Munday *et al.* (2011), el artículo sugería varias formas para mejorar los resultados económicos, como fomentar la contratación de empresas locales y mejorar la formación de mano de obra en las áreas rurales. Aun así, señalaba que los desarrollos eólicos a gran escala seguirán estando dominados por grandes empresas comerciales, lo que limita las oportunidades para que las comunidades locales participen directamente en estos proyectos. Esto son también marcos que nos remiten bastante a España, como ya se señalara también en Duarte *et al.* (2022) y en Fabra *et al.* (2024).

El hilo central que une la mayor parte de esas propuestas es que las inversiones en parques eólicos podrán tener efectos netos positivos en el territorio si se cumple al menos una de estas dos condiciones (o una combinación de ambas): i) capitales locales se implican en esos proyectos y tratan de compensar los efectos adversos con su capacidad de actuación o con los beneficios de operación de los parques, y/o ii) se diseñan sistemas que permitan que los agentes que viven en el territorio puedan, de forma lo más generalizada posible, percibir una compensación adecuada por sus pérdidas, ya sea redistribuyendo las rentas generadas por esas inversiones en forma de transferencias monetarias o en especie o bien forzando a que parte de esas rentas sea generada por factores productivos de titularidad local.

Los formatos que pueden adoptar esas compensaciones pueden ser muy variados, pero la idea central es que sean lo más generalizados posible para que se produzca efectivamente una alineación de los intereses de unos y otros. No cabe esperar que un proceso de negociación bilateral dé lugar a una compensación

adecuada por dos razones: i) la capacidad de presión/negociación suele ser muy asimétrica y ii) los intereses generales (por ejemplo, la descarbonización de la economía) no estarían realmente presentes en esa hipotética mesa bilateral de negociación.

En el nivel local (en nuestro caso la comarca del Matarraña), la implementación de modelos de participación comunitaria, como los propuestos por Hübner *et al.* (2023), podría ser una vía para mejorar la aceptación social y maximizar los beneficios locales. Como se recoge en los “Diálogos de Energía y Sostenibilidad” en torno a “Energías Renovables y Territorio” de esta misma revista (Linares y G. Sáenz de Miera, coords., 2023), en muchos casos se generan dinámicas negativas en las poblaciones rurales entre aquellos vecinos que disponen de un terreno apto para la instalación (en ese caso se explicita para fotovoltaica) y aquellos que no. Las líneas anteriores hemos tratado de mostrar que, aunque en términos de empleos-salarios permanentes las inversiones en renovables pueden generar muy pocas ganancias, existe la posibilidad de canalizar una parte de las rentas del capital hacia las comunidades locales. En la línea de lo señalado más arriba, el formato de esa transferencia puede ser muy variado, ya sea en términos monetarios por participación en las inversiones, en forma de servicios públicos percibidos gracias a recaudación de impuestos o en especie en forma de energía más barata. Esas innovaciones institucionales pueden ser muy complejas, pero son necesarias si queremos que el despliegue de las renovables sea aceptado, es decir, que sea social y políticamente factible.

#### 4. CONCLUSIONES

Como se recoge por la AEE (2024), la energía eólica es la tecnología que más aporta al sistema energético español, superando el 23,5 % de la cobertura de la demanda en 2023. Habiendo superado los 30 GW eólicos instalados, aún sería necesario instalar 5,2 GW anuales para alcanzar los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) de 62 GW eólicos a 2030. Pese al gran despliegue de la misma, por ejemplo, con los poco más de 600 MW instalados en el último año, 2023, el ritmo de instalación está muy por debajo del necesario para cumplir con los objetivos establecidos por el PNIEC.



Este despliegue de energías renovables en España, las regiones (con caso de estudio analizado *e.g.* en Aragón), provincias, comarcas (*e.g.* estudiado en el Matarraña, Comarca de Belchite...) y municipios, ofrece grandes oportunidades para avanzar hacia una economía más sostenible. Sin embargo, el conjunto de estudios revisados aquí (que no pretende ser exhaustiva pero sí significativa) muestra que, aunque los beneficios globales son significativos, las comunidades locales en áreas rurales no siempre reciben una parte que justifique los costes que soportan.

La transición energética debe ir acompañada de políticas que aseguren que las comunidades rurales se beneficien de manera justa. Esto incluye la participación local en los proyectos, el desarrollo de modelos de copropiedad y mecanismos de compensación que mitiguen los impactos negativos en el medio ambiente y en el desarrollo económico de forma que consigan beneficios económicos locales distribuidos de la forma más general posible. Creemos que varios estudios como los reseñados en este artículo, y otros no recogidos aquí exhaustivamente, proporcionan un marco valioso para analizar estas cuestiones y avanzar hacia ese modelo de desarrollo más inclusivo.

Implicaciones directas que se derivan del citado conjunto de estudios son:

- *La necesidad de políticas más inclusivas para las comunidades rurales.* Los autores destacan que, aunque la energía eólica representa una oportunidad importante para reducir las emisiones y generar empleo a corto plazo, los beneficios para las comunidades locales a largo plazo son limitados. Por ejemplo, en Duarte *et al.* (2022), donde se evaluó la percepción de los impactos socioeconómicos de la energía eólica en áreas rurales, con un enfoque basado en encuestas, se halló una gran heterogeneidad de resultados entre expectativas y realidad con respecto a las renovables. En general, se recomienda el diseño de políticas que involucren más a las comunidades rurales en la planificación y ejecución de los proyectos, asegurando que estas comunidades reciban una parte equitativa de los beneficios económicos generados.
- *Coincidencia de las implicaciones de estudios previos, propios y ajenos.* Nuestros estudios complementan trabajos previos sobre los impactos socioeco-

nómicos de los proyectos eólicos en áreas rurales, como los realizados por Munday *et al.* (2011), Fabra *et al.* (2024) y Brunner y Schwegman (2022), quienes también enfatizan la importancia de diseñar modelos que maximicen los beneficios locales y minimicen los impactos negativos. En el caso de los proyectos en eólica, se mostraba además que tienen menores efectos sobre el empleo que los proyectos solares, especialmente en la construcción.

- *Desafíos a futuro y oportunidades para la investigación.* Los autores sugieren que los futuros estudios deberían centrarse en las diferencias espaciales y temporales de los impactos de las energías renovables, así como en los efectos indirectos en otras regiones y sectores económicos. En particular, proponen que se continúe investigando cómo maximizar la aceptación social de los proyectos eólicos y cómo mejorar la distribución de los beneficios a nivel local, lo cual puede incluir mecanismos de participación comunitaria.

## REFERENCIAS

AEE. (2023). *Estudio Macroeconómico del Impacto del Sector Eólico en España 2020, 2021, 2022*. Asociación Empresarial Eólica (AEE).

AEE. (2024). *El Anuario Eólico 2024, Ranking por CCAA y provincias*. Asociación Empresarial Eólica (AEE).

AEE-MINCOTUR. (2019). *Agenda Sectorial de La Industria Eólica*. Asociación Empresarial Eólica (AEE)-Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR). [https://industria.gob.es/es-es/Servicios/AgendasSectoriales/Agenda%20sectorial%20de%20la%20industria%20e%C3%B3lica/agenda-sectorial-de-la-industria-eolica\\_2019.pdf](https://industria.gob.es/es-es/Servicios/AgendasSectoriales/Agenda%20sectorial%20de%20la%20industria%20e%C3%B3lica/agenda-sectorial-de-la-industria-eolica_2019.pdf)

ALMAZÁN, M. Á., CAZCARRO, I., BIELSA, J., LANGARITA, R., y RODRÍGUEZ-LÓPEZ, G. (2024). Socioeconomic impacts of wind farms in small and rural areas: A case study in North-eastern Spain. (En evaluación en *Clean Technologies and Environmental Policy*).

BRUNNER, E. J., y SCHWEGMAN, D. J. (2022). Commercial Wind Energy Installations and Local Economic Development: Evidence from U.S. Counties. *Energy Policy*, 165, 112993. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112993>

BUSCH, S., KASDORP, R., KOOLEN, D., MERCIER, A. y SPOONER, M. (2023). The Development of Renewable Energy in the Electricity Market. *Discussion paper*, 187 | June. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18215-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18215-5_20)

CAZCARRO, I., BIELSA, J., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, G., y GARCÍA-MÁRQUEZ, S. (2024). Analysis of the impact on employment of planned investments in wind energy in Aragón. (En prensa, en *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*).

CLENAR - Clúster de la Energía de Aragón. (2021). *Impacto ambiental, social y económico de los proyectos de energías renovables eólicas y fotovoltaicas en Aragón*.

DIPUTACIÓN GENERAL DE ARAGÓN (DGA). (2021). Energía eólica en Aragón. Tramitación de las instalaciones de producción de energía eléctrica en Aragón, cuya principal tecnología sea eólica: información geográfica sobre las instalaciones, otorgamiento de protección, tipos de autorizaciones, requisitos. Diputación General de Aragón. <https://www.aragon.es/-/energia-eolica>

DIPUTACIÓN GENERAL de ARAGÓN (DGA). (2024). Datos de energías renovables en Aragón (IDEARAGON) = Renewable energy data in Aragon (IDEARAGON). <https://opendata.aragon.es/datos/catalogo/dataset/datos-de-energias-renovables-enaragon-idearagon>

DIRECTIVA (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo.

DUARTE, R., GARCÍA-RIAZUELO, A., SÁEZ, L. A., SARASA, C. (2022). Analysing citizens' perceptions of renewable energies in rural areas: A case study on wind farms in Spain. *Energy Reports*, 8, 12822-12831. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.173>

FABRA, N., GUTIÉRREZ, E., LACUESTA, A., y RAMOS, R. (2024). Do renewable energy investments create local jobs? *Journal of Public Economics*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2024.105212>

FRAGKOS, P., y PAROUSSOS, L. (2018). Employment Creation in EU Related to Renewables Expansion. *Applied Energy*, 230. 935–45.

GARRETT-PELTIER, H. (2017). Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels. *Economic Modelling*, 61. 439-447.

HÜBNER, G., LESCHINGER, V., MÜLLER, F. J. Y., y POHL, J. (2023). Broadening the social acceptance of wind energy – An Integrated Acceptance Model, *Energy Policy*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113360>

INE. (2024). Resultados Nacionales. Estadística Estructural de Empresas. Sector Industrial. Principales Magnitudes Según Actividad Principal (CNAE-2009 a 1, 2 y 3 Dígitos ) y Tamaño (Por Personal Ocupado). Instituto Nacional de Estadística.

LAWRENCE PEDROZA, D. E., ESPAÑA FORERO, J. M. y ORTEGA ARANGO, S. (2022). Comunidades de Energía Para Una Transición Energética: Una Revisión Documental de Los Elementos, Retos, y Tendencias Del Autoconsumo Comunitario. *Ingenierías USBMed*, 13(2), 13–24. <https://doi.org/10.21500/20275846.5457>

LEONTIEF, W. (1941). *The structure of American economy 1919-1929: An empirical application of equilibrium analysis*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

LINARES, P., y SÁENZ DE MIERA, G. (coords.). (2023). Diálogos de Energía y Sostenibilidad, Diciembre 2023. Energías Renovables y Territorio.

MITECO. (2023). *Impacto Económico, de empleo, social y sobre la salud pública del PNIEC 2021-2030*. MITECO - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

MUNDAY, M., BRISTOW, G., y COWELL, R. (2011). Wind farms in rural areas: How far do community benefits represent a local economic development opportunity? *Journal of Rural Studies*, 27(1), 1-12.

ORTEGA, M., RÍO, RUIZ, P. DEL, y THIEL, C. (2015). Employment effects of renewable electricity deployment. A novel methodology. *Energy*, 91, 940–951. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2015.08.061>

ORTEGA-IZQUIERDO, M., y RÍO, P. DEL. (2020). An analysis of the socioeconomic and environmental benefits of wind energy deployment in Europe. *Renewable Energy*, 160, 1067–1080. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.06.133>

POLLIN, R., HEINTZ, J., GARRETT-PELTIER, H., & OTHERS. (2009). The Economic Benefits of Investing in Clean Energy: How the economic stimulus program and new legislation can boost US economic growth and employment. Political Economy Research Institute, University of Massachusetts at Amherst.

RAHIMI, E., RABIEE, A., AGHAEI, J., MUTTAQI, K. M., y NEZHAD, A. M. (2013). On the Management of Wind Power Intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 643–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.034>

REE. (2024). Informe Del Sistema Eléctrico. Informe Resumen de Energías Renovables 2023. Red Eléctrica de España (REE). [https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2024-03/Informe\\_Renovables\\_2023.pdf](https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2024-03/Informe_Renovables_2023.pdf)

TOMÁS, M., CAZCARRO, I., MONTILLA, J., PIZARRO-IRIZAR, C. y ARTO, I. (2023). Green jobs in the Spanish renewable energy sector: an input-output approach. En ch. 7, *Handbook on the Economics of Renewable Energy* (138-156). Edward Elgar Publishing.

VARELA-VÁZQUEZ, P., y SÁNCHEZ-CARREIRA, M. C. (2014). Estado de Desarrollo Del Sector de La Energía Eólica En Galicia Desde Una Perspectiva de Clúster. *Revista Galega de Economía* 23(1), 25. <https://www.redalyc.org/pdf/391/39133717003.pdf>

VARELA-VÁZQUEZ, P., y SÁNCHEZ-CARREIRA, M. C. (2015). Socioeconomic Impact of Wind Energy on Peripheral Regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp. 982–990. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.045>

ZAFRILLA, J., ARCE, G., CADARSO, M. A., CÓRCOLES, C., GÓMEZ, N., LÓPEZ, L.-A., MONSALVE, F. y TOBARRA, M.-A. (2019). Triple Bottom Line Analysis of the Spanish Solar Photovoltaic Sector: A Footprint Assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114(C). <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:rensus:v:114:y:2019:i:c:4>







Información Publicaciones / Publications Information:

Funcas  
Caballero de Gracia, 28  
28013 Madrid  
España / Spain  
Tfno. / Phone: +34 91 596 54 81  
Fax: +34 91 596 57 96  
[publica@funcas.es](mailto:publica@funcas.es)

P.V.P.: Suscripción anual papel, 25 € (IVA incluido)  
Edición digital, gratuita



ISSN: 2445-2726  
Depósito Legal: M-7537-2016