

Cambio climático: medición de la incertidumbre financiera¹



Giovanni Malatesta C.

Instructor Adjunto,
Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile.
Doctor en Economía de la Empresa,
Universidad Autónoma de Madrid, España.²

“Uno de los mayores desafíos que impone el cambio climático, para ser abordado desde la perspectiva del análisis financiero, es que su materialización solamente es observable en extensos intervalos de tiempo”.

RESUMEN

La perspectiva financiera sobre el fenómeno del cambio climático ha presentado importantes avances en los últimos años. Existen consensos sobre la conveniencia de avanzar en estándares de revelación de información, así como también en la necesidad de efectuar mediciones desde una perspectiva de gestión de riesgos. Sin embargo, las mediciones tradicionales de riesgos financieros parecieran no ser completamente adecuadas al momento de evaluar los impactos financieros esperables sobre las firmas. El presente artículo complementa una propuesta metodológica efectuada en un trabajo anterior, proporcionando una medida asociada a la incertidumbre que el cambio climático puede tener sobre la capacidad de cumplir las obligaciones de las empresas que están expuestas de manera importante a cambios adversos, vinculados a las condiciones climáticas. En particular, se presentan mediciones de la entropía de Shannon a las distribuciones de incumplimientos obtenidas, a partir de simulaciones de los activos de las cuatro empresas vitivinícolas que presentan información a la CMF. Los resultados permiten complementar las conclusiones del trabajo anterior, en términos de disponer de una aproximación metodológica para cuantificar efectos financieros, provenientes del cambio climático. Particularmente, esta metodología podría incorporar una medición de incertidumbre adicional, a la medición de la probabilidad de incumplimiento.

Palabras clave: Cambio climático, probabilidad de default (PD), análisis financiero, entropía.

1 Este artículo es parte de un trabajo presentado en *Environmental and Sustainability Management Accounting Network (EMAN)* de junio 2022.

2 Agradezco los comentarios que, sobre aspectos recientes del fenómeno del cambio climático, me ha efectuado el profesor de la FEN U. de Chile, Harold López, al igual que a los aportes y observaciones de Miguel Bravo. Las opiniones y errores de este trabajo son de exclusiva responsabilidad mía.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos que impone el cambio climático (CC), para ser abordado desde la perspectiva del análisis financiero, es que su materialización solamente es observable en extensos intervalos de tiempo. De esta forma, resulta complejo aislar sus efectos, por lo que se dificulta su evaluación con las herramientas tradicionales, haciendo que su gestión sea un importante desafío, tanto para las empresas expuestas, como también a muchos grupos de interés, tales como acreedores, analistas de mercado, reguladores, entre otros.

Sin embargo, ha habido importantes avances, especialmente, en aspectos vinculados a los mercados financieros, que son regulados en términos de gestión de sus riesgos y revelación de información. A nivel internacional, por ejemplo, se observa una tendencia a incluir información asociada a los impactos que, sobre diversos tipos de activos (carteras de créditos, portafolios de inversión, entre otros), tienen los desastres naturales, sean estos o no consecuencia del CC³. Los avances que *Task Force on Climate-related Financial Disclosures* (TCFD) ha tenido en términos de definición de lineamientos para revelar de manera adecuada los riesgos financieros asociados al CC, en cierta forma, han marcado una ruta a seguir en esta materia. También, se puede destacar en los últimos años el interés mostrado por el *Bank for International Settlements* (BIS), que tanto en 2020⁴ como en 2021⁵, ha publicado documentos que muestran la intención de llevar a cabo avances coordinados entre diferentes países.

A nivel local, la Comisión para el Mercado Financiero (CMF), en 2020, presentó su estrategia de trabajo para enfrentar el CC en el mercado financiero. Particularmente, planteó como objetivo “impulsar la divulgación de información asociada al cambio climático”, así como también “facilitar el desarrollo de un mercado financiero verde e integrar los riesgos climáticos a la supervisión prudencial”⁶. Más recientemente, y en el marco de la COP26, se publicó la norma de carácter general 461, que incorpora nuevas exigencias de información sobre sostenibilidad y gobierno corporativo, en las memorias anuales de una gran número de empresas, incluyendo bancos, compañías de seguros, emisores de valores de

“Ha habido importantes avances, especialmente, en aspectos vinculados a los mercados financieros, que son regulados en términos de gestión de sus riesgos y revelación de información. A nivel internacional, por ejemplo, se observa una tendencia a incluir información asociada a los impactos que sean estos o no consecuencia del cambio climático”.

oferta pública, administradoras generales de fondo y bolsas de valores.⁷ Dentro del marco de gobernanza y gestión de riesgos, se exige incluir información sobre las prácticas de gobierno corporativo, con especial referencia a riesgos de sostenibilidad y CC.

Los aspectos mencionados anteriormente ponen de relieve la necesidad de disponer de metodologías que acompañen las nuevas (y futuras) exigencias de información. La gestión de riesgos financieros, paulatinamente, debería incorporar elementos cuantitativos, que den cuenta de los efectos actuales y esperados del CC.

En este contexto, el presente trabajo busca motivar el avance en la definición de procedimientos que, utilizando información contenida en los estados financieros, puedan medir los efectos financieros asociados al CC. Cabe mencionar que en un trabajo anterior efectuado junto al profesor de la FEN U. de Chile, Harold López⁸ (en adelante “el trabajo anterior”), se planteó una propuesta metodológica para elaborar una medida de efectos que el CC podría tener sobre la probabilidad de *default*, conceptualizando así el CC como un nuevo riesgo financiero, o bien como una condición que pudiera afectar al riesgo de crédito.

3 El riesgo climático se enmarca dentro de una categoría más amplia, que incorpora los riesgos de desastres naturales y otros.

4 “*Climate-related financial risks: a survey on current initiatives*”, abril de 2020, disponible en la página web www.bis.org

5 “*Climate-related risk drivers and their transmission channels*”, abril de 2021, disponible en la página web www.bis.org

6 Disponible en la página web www.cmfchile.cl

7 Ídem a la referencia 5 anterior.

8 Dicha propuesta está contenida en el artículo “Cambio climático: Propuesta metodológica para evaluar un nuevo riesgo financiero”, publicado la revista *Contabilidad y Sistemas*, volumen XVI, segundo semestre de 2019.

LITERATURA

Avances desde la perspectiva financiera

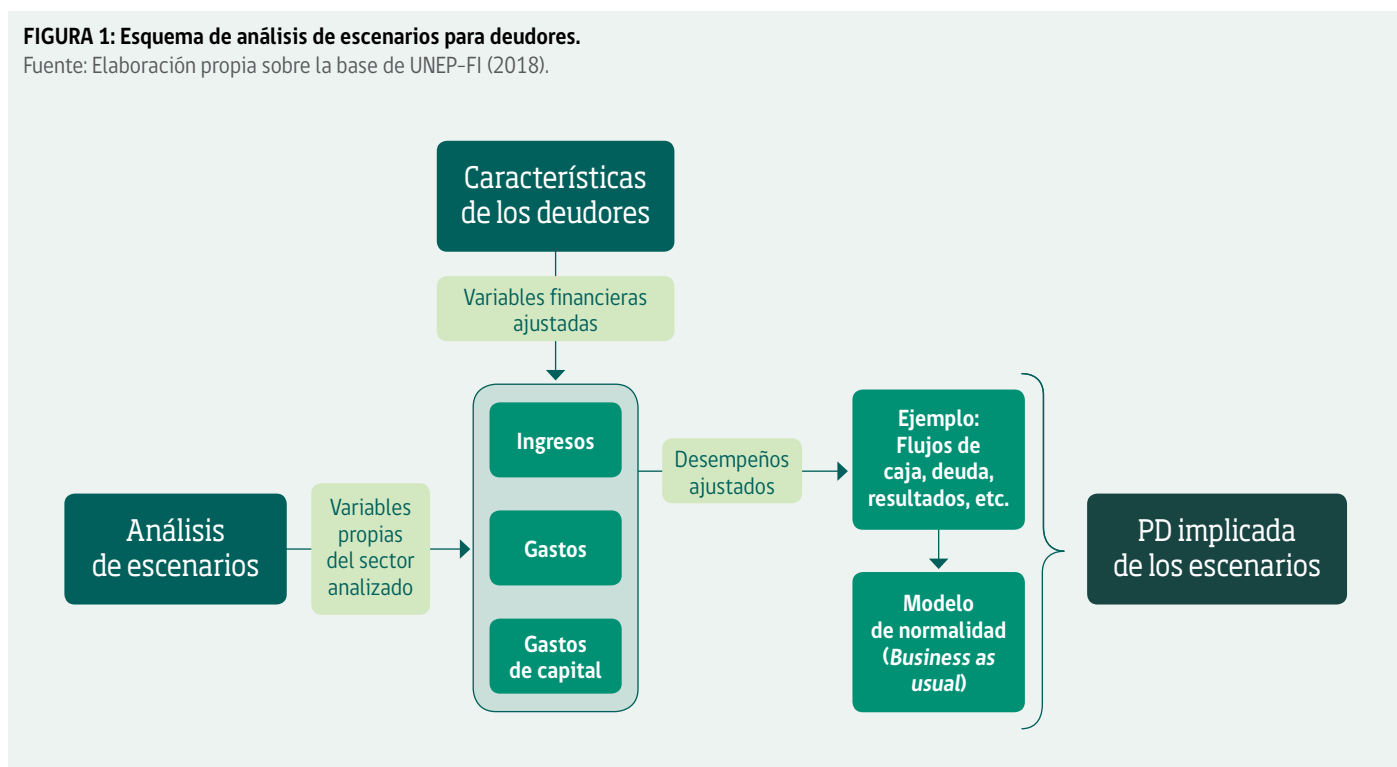
La importancia de evaluar los impactos financieros producidos por el CC se encuentra cada vez más documentada. El trabajo de Mandel, Tiggeloven y Lincke (2021) plantea que los cambios en la distribución y frecuencia de los eventos meteorológicos extremos producidos por el CC podrían imponer un desafío a la estabilidad financiera global. La propagación de efectos es modelada a partir de una dinámica de redes, que incluye efectos de índole doméstico y también internacionales, con una perspectiva dual. Por una parte, se identifican los países que representan una mayor fuente de riesgos, desde la perspectiva financiera y, por otra, se determinan los países con mayor vulnerabilidad a riesgos sistémicos. Desde una perspectiva de políticas públicas, los resultados resaltan la necesidad de disponer de un marco de trabajo de gestión de los riesgos financieros provenientes del CC, así como también de que se adapten los mercados, por ejemplo, por medio de la medición de los riesgos físicos⁹, en las posiciones de inversionistas de largo plazo.

Una de las principales iniciativas a nivel global, para enfrentar las implicancias que en el ámbito financiero tiene el CC, es la llevada a cabo por la Organización de las Naciones Unidas (*United Nations Environment Finance Initiative* (UNEP FI)), consistente en un trabajo piloto con 16 importantes bancos internacionales¹⁰. Uno de los aspectos relevantes del informe, es que se transforma en un punto de partida para el diseño de metodologías de análisis y revelación de los actuales y potenciales impactos de riesgos relacionados con el CC, pudiendo, al mismo tiempo, determinarse algunas oportunidades para su gestión.

Para cuantificar los potenciales impactos que tienen las probabilidades de incumplimiento de las obligaciones financieras (PD, por sus siglas en inglés), por parte de deudores expuestos a efectos adversos del CC, el informe recomienda a las entidades financieras acreedoras utilizar la experiencia como complemento del análisis de escenarios, de manera tal que puedan extrapolarse los impactos de algunos deudores a toda una cartera de créditos. Como ejemplo, el informe esquematiza una medición cuantitativa, la cual es representada a continuación en la Figura 1.

FIGURA 1: Esquema de análisis de escenarios para deudores.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UNEP-FI (2018).



⁹ Entendidos estos como la potencial ocurrencia de pérdidas, producto de eventos climáticos extremos o bien como consecuencia de cambios graduales de largo plazo en los patrones climáticos.

¹⁰ El trabajo piloto incorporó a los bancos: ANZ, Barclays, BBVA, BNP Paribas, Bradesco, Citi, DNB, Itaú, National Australia Bank, Rabobank, Royal Bank of Canada, Santander, Société Générale, Standard Chartered, TD Bank Group y UBS.

FIGURA 2: Modelo de pérdidas esperada.

Fuente: Elaboración propia.



Adicionalmente, el informe recomienda la aplicación de un concepto de amplio uso por parte de las instituciones financieras, llamado pérdida esperada. Este corresponde al monto de la cartera de créditos que una institución acreedora espera perder, tomando en consideración un escenario base, para evaluar el normal desarrollo de los negocios. El valor de las pérdidas esperadas puede ser determinado, según se esquematiza en la Figura 2.

Para evaluar los potenciales cambios en la PD en el período de transición¹¹, el informe propone la utilización del modelo de Merton. Este fue desarrollado en los años 70', y es ampliamente utilizado para evaluar el riesgo de *default* del deudor de un crédito. Bajo este modelo, se vincula la PD con la probabilidad de que en el futuro los activos de una empresa alcancen valores inferiores a un umbral, que está determinado por el valor de las obligaciones de la empresa. Así, la PD podría afectarse en la medida que haya cambios en la distribución futura de los activos de una firma deudora.

Desde el punto de vista de la regulación, la Organización Internacional de Comisiones de Valores (*International Organization of Securities Commissions* (IOSCO)) destacó en 2020 que el CC es uno de los importantes desafíos que enfrentan los reguladores de los mercados financieros, en materias tales como protección de los inversionistas, mantención de mercados transparentes y eficientes, y reducción del riesgo sistémico.

Se subraya que empresas importantes a nivel mundial han reportado exposiciones significativas a eventos relacionados con el CC, poniendo énfasis en que es una fuente de riesgos financieros que puede afectar no solamente empresas o sectores específicos, sino que, eventualmente, la estabilidad del sistema financiero en su conjunto. En este contexto, IOSCO provee un foro de discusión para reguladores financieros, con el objetivo de coordinar diferentes enfoques, que identifiquen aspectos de interés transfronterizos, se eviten los conflictos regulatorios, y que dé facilidades al intercambio de conocimiento entre sus miembros.

¹¹ Período en que es posible observar pérdidas de valor de activos, producto de las respuestas que la sociedad tiene frente al CC. Dentro de estas, se pueden destacar cambios en patrones de consumo, nuevos desarrollos tecnológicos, aparición de nuevos productos, entre otros.

Por otra parte, desde la mirada de la regulación de los intermediarios financieros, el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (*Basel Committee on Banking Supervision* (BCBS)), en una publicación de 2020 del Banco Internacional de Pagos (*Bank for International Settlements* (BIS)), destacó el establecimiento de una "fuerza de trabajo", en materia de riesgos financieros relacionados con el CC, que se denominó *Task Force on Climate-related Financial Risks* (TCFR). De esta forma, TFCR es el organismo encargado de contribuir con el mandato del BCBS de fortalecer la estabilidad financiera global, llevando a cabo las siguientes iniciativas:

- » Levantamiento de las actuales iniciativas regulatorias de los miembros del comité, en materia de riesgos financieros relacionados con el CC.
- » Definición de un set de reportes sobre la materia, que incluye temas como los canales de transmisión de riesgos al sistema bancario, así como también sobre metodologías de medición.
- » Desarrollo de prácticas de supervisión efectivas, tendientes a mitigar los riesgos financieros relacionados con el CC.

Por medio de un cuestionario respondido por 27 países miembros y observadores del BCBS, los resultados fueron categorizados en diferentes materias. Respecto del rol de los riesgos financieros relacionados con el CC en materia regulatoria y de supervisión, la mayoría de los miembros¹² señaló que no disponen de un mandato explícito sobre la materia. No obstante, indicaron que estos riesgos sí podrían afectar la seguridad y solvencia de algunas instituciones financieras, provocando potenciales preocupaciones sobre el sistema financiero, por lo que consideran pertinente actuar dentro de los actuales mandatos. Asimismo, se destacó que algunos miembros manifestaron que los riesgos financieros provenientes del CC

¹² En el documento, se indica que solamente un miembro -sin indicarse cuál- dispone de un mandato específico sobre materias relacionadas con riesgos medioambientales, sociales y de gobierno corporativo (ESG, por sus siglas en inglés).

deberían estar incluidos en las actuales categorías de riesgos de crédito, de mercado y operacional, en lugar de ser considerados como una nueva tipología.

Por otra parte, también se destacaron diferentes enfoques para la medición de estos riesgos. Algunos incluyeron estudios cualitativos sobre los canales de transmisión del CC, hacia riesgos y estabilidad financiera; también, se consideraron estimaciones cuantitativas de las exposiciones a sectores económicos o geográficos vulnerables al CC, y otros, incorporaron análisis de escenarios y ejercicios de tensión. No obstante, existen importantes desafíos para llevar a cabo estos análisis, destacándose, entre ellos, la insuficiencia de información confiable y granular, la falta de marcos de trabajo analíticos armonizados y robustos, la dificultad para mapear los canales de transmisión de riesgos, la falta de acciones de gestión coordinadas internacionalmente, y la carencia de una taxonomía ampliamente aceptada sobre los “activos verdes” y los “activos cafés”¹³.

De manera complementaria a lo planteado por el BCBS, el Consejo de Estabilidad Financiera (*Financial Stability Board* (FSB)) también en 2020 emitió un documento en el que se discuten las potenciales implicancias del CC sobre la estabilidad financiera. En el trabajo, se investigaron los potenciales mecanismos que pudieran transmitir y amplificar los efectos de los riesgos asociados al CC, así como también las transmisiones transfronterizas. Dentro de los primeros, se plantea que la transmisión y amplificación de riesgos puede materializarse a través de tres mecanismos.

El primero de ellos corresponde a los cambios en los precios y gestión de los riesgos financieros. Esto se produce por aumentos en los premios por riesgo de un amplio espectro de activos, situación que a su vez, potencialmente, puede incrementar los movimientos conjuntos de precios. El segundo mecanismo corresponde a los potenciales comportamientos pro-cíclicos de los participantes del mercado, situación bajo la cual, por ejemplo, las potenciales ventas de activos, que surgen en respuesta a las manifestaciones de los riesgos relacionados con el CC, pueden ser exacerbadas, en la medida que haya similitudes entre los portafolios de diferentes inversionistas. Por último, el tercer mecanismo de transmisión y amplificación proviene de las reducciones en el otorgamiento de préstamos, por parte de bancos, lo que puede afectar negativamente la economía real.

13 Sin ser una definición taxativa, se entiende por “activos verdes” a aquellos utilizados para el financiamiento de proyectos amigables con el medioambiente; y por “activos cafés” a los que están destinados al financiamiento de proyectos carbono-intensivos, o que no consideran de manera adecuada los riesgos ambientales.

“Una de las principales iniciativas a nivel global, para enfrentar las implicancias que en el ámbito financiero tiene el cambio climático, es la llevada a cabo por la Organización de las Naciones Unidas, consistente en un trabajo piloto con 16 importantes bancos internacionales”.

Por su parte, las posibilidades de reducir los riesgos relacionados con el CC se clasifican en dos tipos. El primero, tiene que ver con las acciones que realizan las instituciones financieras, como por ejemplo, el uso de métricas que permitan hacer seguimiento (o en algunos casos reducir) las exposiciones a riesgos provenientes del CC, la incorporación de estos riesgos en las mediciones del riesgo de crédito de los clientes, el uso de análisis de escenarios en conjunto con mediciones de resiliencia por parte de las instituciones, entre otras. El segundo proviene de las posibles acciones que pueden aplicar las autoridades financieras. En este caso, se destacan las políticas micro prudenciales, que abordan la forma en que las empresas financieras miden, gestionan y mitigan los riesgos; y las políticas macro prudenciales, bajo las cuales los riesgos provenientes del CC deben ser incluidos dentro del monitoreo de la estabilidad financiera.

Por último, desde la perspectiva de participantes del mercado, es posible destacar los aportes de la clasificación de riesgo en la industria. En esta, el *white paper* de Fitch Ratings de 2020, dentro de la metodología de asignación de puntaje de estándares medioambientales, sociales y de gobierno corporativo (ESG, por sus siglas en inglés), pone énfasis en que las políticas de CC son una de las seis tendencias de 2020. Específicamente, plantea que la regulación sobre el clima ha sido mayormente relevante para la medición en algunos sectores, como por ejemplo la industria automotriz, y que existe una brecha entre las promesas de los gobiernos por reducir las emisiones de carbón y las políticas actualmente vigentes, que podría implicar riesgos regulatorios, tanto para las empresas financieras como no financieras.

Midiendo la incertidumbre: Entropía de Shannon

Comúnmente, en el análisis financiero se considera la dispersión de una distribución como una medida aproximada de incertidumbre. En la medida que los valores de una colección de datos están más concentrados en torno a su media, se interpreta como una menor incertidumbre respecto de los valores posibles. Así, la varianza y la desviación estándar son utilizadas para medir riesgos y calcular volatilidades, entre otros. Sin embargo, cuando la fuente de incertidumbre no se relaciona con una variable aleatoria, sino más bien el proceso aleatorio completo es el que la determina, resulta conveniente reconocer cuál es la entropía de una distribución.¹⁴

Entendida la entropía como el valor esperado de la información, se puede plantear que en la medida que la probabilidad de ocurrencia de un evento sea muy alta o bien muy baja, la entropía será menor. Así, la entropía será máxima cuando la incertidumbre también lo sea; es decir, cuando ningún evento tenga una probabilidad de ocurrencia mayor que otro.

Luego, si existen dos posibles eventos A y B, con probabilidades de ocurrencia $p(A)$ y $p(B)$ tales que $p(A)+p(B)=1$, entonces la entropía será mínima cuando $p(A)=0$ (en cuyo caso $p(B)=1$), o bien cuando $p(A)=1$ (en cuyo caso $p(B)=0$), ya que estos valores implican certidumbre del proceso. Como contrapartida, la entropía será máxima cuando $p(A)=p(B)=0,5$. Según plantean Haghizadeh, Siahkamari, Haghghiabi y Rahmati (2017), la teoría de la entropía, propuesta inicialmente por Stephan Boltzmann, es un enfoque que sirve para medir la incertidumbre de un sistema. Tuvo su presentación cuantitativa en 1948, con el trabajo de C. E. Shannon.

La aplicación del concepto de entropía en Finanzas no es nuevo; sin embargo, tampoco está ampliamente extendido. Zhou, Cai y Tong (2013) efectúan una revisión de su uso, destacando que, a pesar de que su origen se encuentra en la termodinámica, existen interesantes aplicaciones para la selección de portafolios y la valoración de activos. Más recientemente, Brandtner, Kürsten y Rischau (2018) desarrollan un análisis teórico de optimizaciones de portafolios, utilizando un concepto de entropía relativa, a partir de la divergencia de las distribuciones de probabilidades.

14 Si bien el concepto de entropía se aplica en diversas disciplinas (Física, Química, entre otros), en el presente trabajo se hará mención de ella según su consideración, bajo conceptos de teoría de la información. No obstante, tanto en termodinámica como en teoría de la información, el concepto intenta capturar el incremento de la aleatoriedad en sistemas dinámicos.

En relación con el CC, para medir los riesgos financieros, la manera en que el proceso se desarrolla puede requerir una aproximación diferente al que tradicionalmente se utiliza. Este, por lo general, considera eventos pasados, analizando su frecuencia, impactos, relaciones con diversas variables, entre otros, que se espera pudieran repetirse en el futuro. De hecho, una gran parte de las proyecciones son hechas suponiendo la estacionariedad¹⁵ de las principales variables modeladas. Sin embargo, en el caso del CC, los efectos son paulatinos y graduales, por lo que podría requerirse aplicar algunas diferencias metodológicas, para evaluar sus impactos.

Por ejemplo, Koh (2015) plantea que el clima es analizado, a partir de la observación del estado del sistema terrestre en el tiempo, lo que incluye las condiciones de la atmósfera, velocidad de los vientos, entre otros, y de la variabilidad y frecuencia de ocurrencia de eventos extremos. Cuando estas características cambian en lapsos extensos de tiempo, como por ejemplo, en décadas, se percibe como un fenómeno de CC. Así, el CC implica cambios a largo plazo en la distribución de probabilidades de los estados de corto plazo, como lo es el caso del día a día.

En el trabajo, se exploran los cambios en los parámetros que describen la distribución estadística de un fenómeno afectado por el CC, como es el caso de la distribución de la velocidad del viento en determinadas estaciones de medición. Uno de los parámetros analizados corresponde a la entropía de Shannon de la distribución, que comúnmente se utiliza para modelar la velocidad del viento en la tropósfera. De forma análoga, Haghizadeh, Siahkamari, Haghghiabi y Rahmati (2017), efectúan estimaciones de áreas propensas a inundaciones, utilizando también un indicador de entropía de Shannon, a partir de la diferencia entre las entropías máximas y observadas de cada una de las variables independientes utilizadas. El indicador que se usa lo llamaron coeficiente de información.

De acuerdo con Wenpo, Yao y Yao (2020), la entropía de Shannon es uno de los parámetros estadísticos que se utiliza, para evaluar diferencias entre distribuciones de probabilidades. Como indicador de la incertidumbre y aleatoriedad de una determinada cantidad de información, los autores plantean que ha ganado popularidad como medida de complejidad en el análisis de fenómenos no lineales.

15 Entendida, en términos generales, como la estabilidad que en el tiempo tienen las principales características que describen la función de distribución de una variable aleatoria.

Para comprender la intuición de la entropía de Shannon, consideraremos de manera resumida el ejemplo de Aerin Kim¹⁶, que fue desarrollado a partir de la definición que Ian Goodfellow, Yoshua Bengio y Aaron Courville, en el libro "Deep Learning", para la entropía de una distribución de probabilidades. Si un evento x posee una probabilidad de ocurrencia, se cuantifica la cantidad de incertidumbre de una distribución, por medio de la siguiente definición de la entropía de Shannon:

$$H(x) = -\mathbb{E}_{x \sim P}[\log P(x)]^{17}$$

La expresión anterior puede ser reescrita como:

$$H(x) = -\sum p(x) \times \log p(x)$$

$$H(x) = \sum p(x) \times \log\left(\frac{1}{p(x)}\right)$$

Con: $p(x)$ = probabilidad del evento x
 $\frac{1}{p(x)}$ = cantidad de información de cada evento

Si, por ejemplo, existe un 50% de probabilidad que llueva, se puede eliminar la incertidumbre de dos eventos (que llueva y no llueva) conociendo uno de ellos, por lo que el nivel de entropía será:

$$50\% \times \log_2\left(\frac{1}{50\%}\right) + 50\% \times \log_2\left(\frac{1}{50\%}\right) = 1$$

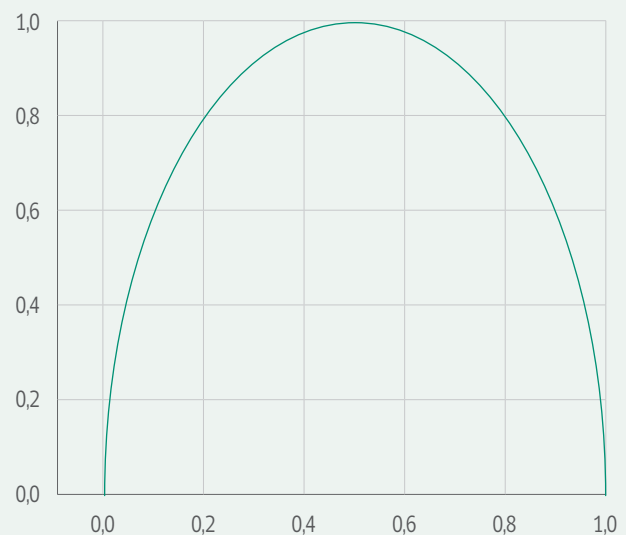
En cambio, cuando los eventos no tienen igual probabilidad de ocurrencia, el nivel de incertidumbre es menor. Si, por ejemplo, la probabilidad que llueva es 75%, el nivel de entropía será:

$$75\% \times \log_2\left(\frac{1}{75\%}\right) + 25\% \times \log_2\left(\frac{1}{25\%}\right) = 0.81$$

Generalizando el ejemplo anterior, para diferentes probabilidades de ocurrencia, se tiene:

GRÁFICO 1. Entropía de Shannon.

Fuente: Elaboración propia.



De esta manera, las distribuciones con alto nivel de determinismo; es decir, con eventos casi ciertos tienen baja entropía. A la inversa, las distribuciones cercanas a la Uniforme tienen una alta entropía.

¹⁶ Ingeniera divulgadora de temas de Matemática aplicada. El ejemplo se encuentra disponible en <https://towardsdatascience.com/the-intuition-behind-shannons-entropy-e74820fe9800>

¹⁷ Si se utiliza el logaritmo natural, con base e , el concepto de información se expresa en términos de *nats*. Así, un *nat* es la cantidad de información ganada, al observar un evento de probabilidad $1/e$. Análogamente, si se utiliza el logaritmo con base 2, las unidades son llamadas *bits*. La información medida en *bits* es un re-escalamiento de la información medida en *nats*.

METODOLOGÍA

En el presente trabajo, se complementa la propuesta metodológica efectuada junto al profesor Harold López, por medio de la incorporación de una medida de entropía de la distribución en los incumplimientos de cada empresa, que permitiría observar su variación, al incorporar los posibles efectos negativos del CC.

Para el análisis, se utilizó información pública contenida en los estados financieros de las empresas vitivinícolas que reportan información a la CMF. En una primera etapa, se actualizaron los cambios esperados en la PD, ante la materialización de eventos adversos provenientes del CC, en el largo plazo.

Al igual que en el trabajo anterior, se efectuó una medición aproximada del modelo de Merton. En ella, el parámetro de deterioro de las condiciones financieras que pudiera implicar un evento adverso en términos de PD se basó en el estudio de Ponce, Blanco y Giupponi (2014). Este trabajo estimó una función de beneficios,

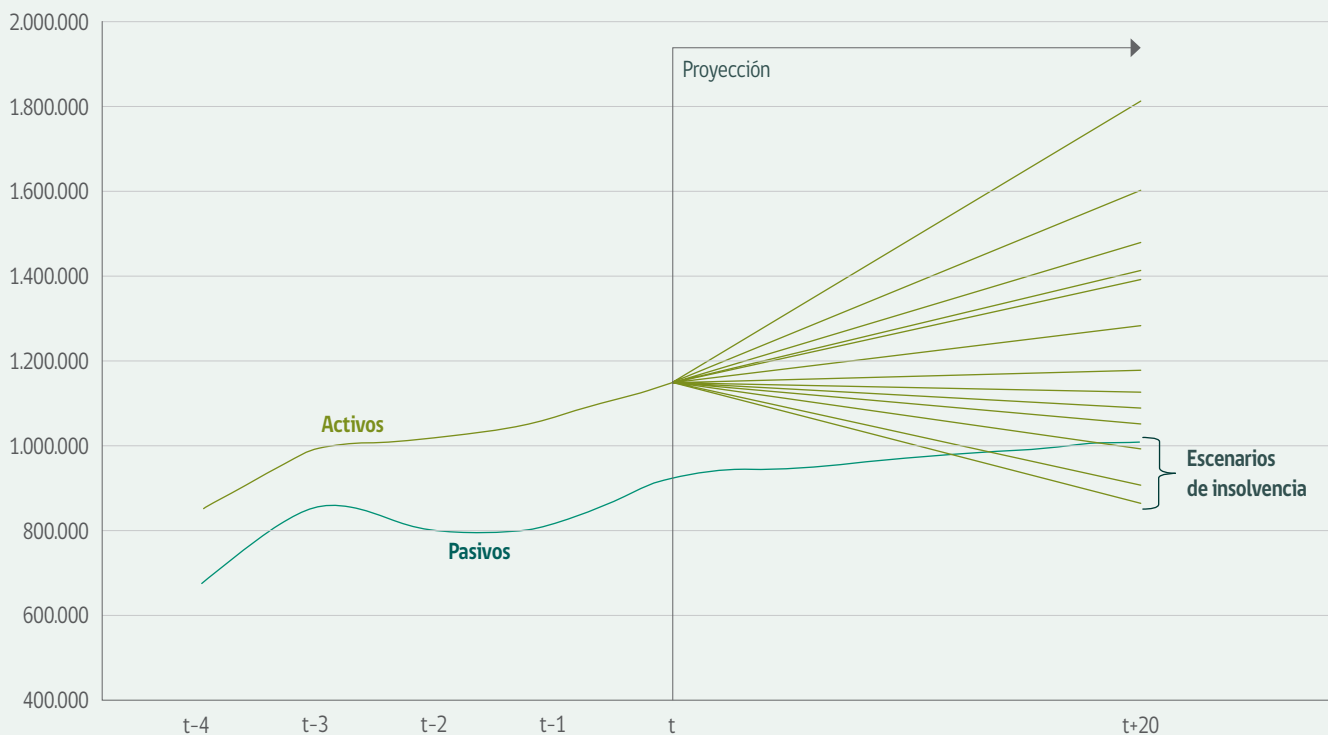
que considera información de rendimientos por comunas, procedente del censo agrícola del año 2007. Los escenarios analizados en dicho estudio consideraron estimaciones de rendimientos de producción en un año base, en 2007, y para el año 2040. Tomando en cuenta lo anterior, se consideró un cambio en los rendimientos esperados debido al CC, según la zona geográfica y el cultivo.

Al mismo tiempo, se actualizaron las estimaciones de PD's de largo plazo con información de estados financieros a 2020, asumiendo un deterioro esperado de las condiciones financieras y tomando como base lo planteado por Ponce, Blanco y Giupponi (2014). A continuación, se incorporó una medida de entropía de Shannon para cada una de las distribuciones obtenidas, mediante simulaciones de Montecarlo, con el fin de aproximarse a la incertidumbre que el CC podría estar añadiendo al riesgo de crédito de las empresas observadas.

Las estimaciones de PD del escenario base y del escenario alternativo se aprecian en el Gráfico 2.

GRÁFICO 2. Gráfico de simulaciones.

Fuente: Elaboración propia.



Las mediciones hechas, igual que las efectuadas anteriormente junto al profesor Harold López, pueden expresarse de la siguiente manera:

$$PD = \frac{n^{\circ} \text{ casos en que } E(\text{Pasivos}_{t+20}) > E(\text{Activos}_{t+20})}{n^{\circ} \text{ total de escenarios simulados}}$$

Donde:

$$E(\text{Pasivos}_{t+20}) = \text{Pasivos}_t \times (1 + \text{tasa crec.prom.histórico})^{20}$$

$$E(\text{Activos}_{t+20})_{\text{del escenario base}} = \text{Activos}_t \times (1 + \text{tasa crec.}_{\text{simul.}})^{20}$$

$$E(\text{Activos}_{t+20})_{\text{del escenario alternativo}} = \text{Activos}_t \times (1 - \alpha) \times (1 + \text{tasa crec.}_{\text{simul.}})^{20} + \text{Activos}_t \times \alpha \times (1 + \text{tasa crec.}_{\text{simul.cam bio climático}})^{20}$$

$$\text{tasa crec.}_{\text{simul.cam bio climático}} = \text{tasa crec.}_{\text{simul.}} \times (1 - \text{deterioro en rendimiento producción})$$

$$\alpha = \frac{(\text{Deudores comerciales} + \text{Inventarios} + \text{Activos Biológicos} + \text{Propiedades, plantas y equipos})_t}{\text{Activos}_t}$$

En este caso, α corresponde a la proporción de activos potencialmente más afectados por el cambio climático en las empresas vitivinícolas.

A continuación, para evaluar la incertidumbre que el CC podría agregar al riesgo de crédito, se midió la diferencia entre la entropía de Shannon de la distribución simulada en el escenario base, con la distribución del escenario alternativo de cada empresa.

RESULTADOS

El trabajo consideró información de los estados financieros, entre los años 2015 y 2020. La Tabla 1 se resume una estadística descriptiva.

Las empresas analizadas totalizaban activos por MM\$ 2.084.676 a diciembre 2020, manteniéndose, en términos generales, las diferencias en endeudamiento observadas en el trabajo anterior. Sin embargo, en el actual trabajo destaca el aumento del apalancamiento de la Empresa 4 (que pasó de 0,49 a 0,70). Asimismo, las tasas de crecimiento de los activos y pasivos también se observan sin grandes cambios, aunque nuevamente con excepción de la Empresa 4, cuyos pasivos aumentaron de manera importante: en promedio un 12%, a diferencia del trabajo anterior, en el que el crecimiento promedio fue de 4%.

TABLA 1. Estadística descriptiva.

Fuente: Elaboración propia.

	Activos totales (MM\$)	Endeudamiento (Pas./Patrim.)	Tasas de crecimiento (promedio)		Activos productivos (α)
			Activos	Pasivos	
Empresa 1	1.146.168	1,00	5%	3%	77%
Empresa 2	295.988	0,76	6%	12%	84%
Empresa 3	60.807	0,17	3%	9%	90%
Empresa 4	341.959	0,49	4%	4%	75%

Por último, se mantiene la importancia de los activos que son considerados como activos productivos¹⁸, los cuales se estima podrían verse negativamente afectados por los efectos del cambio climático.

¹⁸ En esta categoría de activos, se consideraron los activos biológicos, inventarios, deudores comerciales, y propiedades, plantas y equipo.

Actualización del análisis anterior

Los efectos de largo plazo que podría haber sobre las PD's de cada una de las firmas parecieran no ser sustancialmente diferentes a los observados en el trabajo anterior, y sus valores se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2. Cambio en PD para 20 años.

Fuente: Elaboración propia.

	Tasa crecimiento de Activos (promedio simulaciones)		PD t+20		ΔPD
	Escenario Base	Escenario Alternativo	Escenario Base	Escenario Alternativo	
Empresa 1	1.146.168	1,00	5%	3%	77%
Empresa 2	295.988	0,76	6%	12%	84%
Empresa 3	60.807	0,17	3%	9%	90%
Empresa 4	341.959	0,49	4%	4%	75%

El importante aumento de la PD, para el caso de la Empresa 2, es análogo al del trabajo anterior, y consistente con la alta tasa de crecimiento de los pasivos. Cabe destacar que la Empresa 4 presenta PD's más altas en relación con el trabajo anterior, tanto en el escenario base como en el escenario alternativo (16,7% y 17,7%, respectivamente), lo cual es consistente con el mayor apalancamiento mencionado anteriormente. Asimismo, también se subraya la baja mostrada por la Empresa 3, que presentó PD's de 3,5% y 4,7%, para los escenarios base y alternativos, respectivamente. Este resultado podría explicarse por un menor apalancamiento de 0,15 versus 0,17 en el trabajo anterior, pero también por un menor crecimiento esperado de los pasivos: 5% versus 9%, en el trabajo anterior.

Medición complementaria

Tal como se indicó anteriormente, como complemento de la observación de las variaciones en las PD's, por consecuencia de los efectos adversos que podría tener el CC, se midió la entropía de las distribuciones de incumplimientos de las firmas analizadas. Se consideraron las distribuciones de aquellos casos que, mediante simulaciones de Montecarlo, obtuvieron valores de los activos de largo plazo, inferiores a los valores de los pasivos. Para cada una de esas distribuciones, se midió la entropía de Shannon, y se observaron las variaciones de estas, entre los escenarios base y alternativos de cada una de las empresas. Las respectivas mediciones y sus variaciones se presentan a continuación, en la Tabla 3.

"Al igual que en el trabajo anterior, se efectuó una medición aproximada del modelo de Merton. En ella, el parámetro de deterioro de las condiciones financieras que pudiera implicar un evento adverso en términos de PD se basó en el estudio de Ponce, Blanco y Giupponi, del año 2014".

TABLA 3: Cambio en la entropía de las distribuciones de incumplimientos para 20 años.

Fuente: Elaboración propia.

	Entropía distribución incumplimiento (Nats)		Δ+Entropía %
	Escenario Base	Escenario Alternativo	
Empresa 1	6,52	8,51	30%
Empresa 2	3,72	5,58	50%
Empresa 3	7,77	9,53	23%
Empresa 4	2,37	3,48	47%

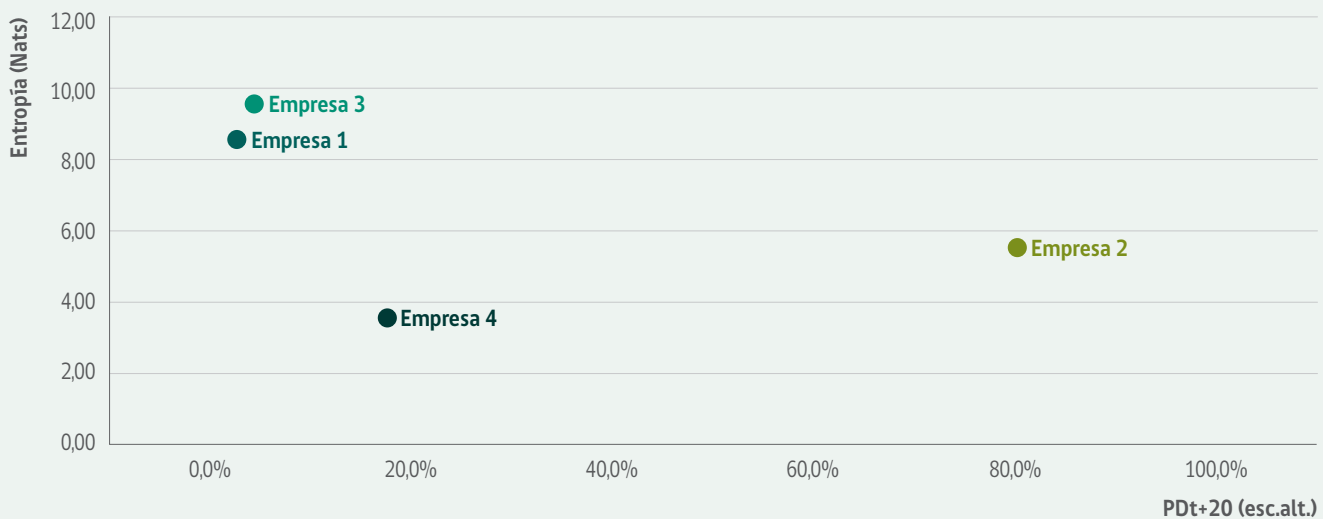
Los valores obtenidos muestran aumentos importantes en la entropía de las distribuciones, lo cual es consistente con el aumento de las PD's, en los escenarios alternativos. Al observar de manera conjunta ambos resultados de los efectos sobre PD's y entropías, destaca la Empresa 2, al poseer efectos cuantitativamente muy superiores, si se compara con las otras firmas.

Sin embargo, la medición de la entropía pone de relieve una segunda firma, la Empresa 4, como susceptible de presentar efectos importantes provenientes del CC. En este caso, al contar con mayor nivel de incertidumbre sobre el cumplimiento de sus pasivos, se podrían complementar medidas de exposición de riesgo de crédito, por parte de sus acreedores.

Adicionalmente, también puede observarse que las firmas con menores PD's presentarían, a su vez, una mayor incertidumbre sobre sus posibilidades de cumplir las obligaciones. En el Gráfico 3, se da cuenta de esta relación.

GRÁFICO 3. Relación entre los valores obtenidos de probabilidad de *default* y entropía.

Fuente: Elaboración propia.



“La información revelada en los estados financieros, por lo general, no permite efectuar mediciones cuantitativas de los efectos financieros que pueden tener las empresas expuestas a los efectos adversos del cambio climático. Particularmente, sí tiene implicancias sobre la capacidad de pago de las obligaciones de una empresa. Sin embargo, no es algo que actualmente sea expuesto como parte de los riesgos financieros”.

A partir de lo anterior, la entropía, eventualmente, podría ser una medida que entrega información adicional a la PD, para efectos de cuantificar la incertidumbre que tienen las empresas afectadas por el CC de cumplir con sus pasivos. En la medida que los riesgos provenientes del CC posean dinámicas diferentes a aquellas que tradicionalmente alimentan las mediciones de riesgos financieros, no se puede descartar su inclusión como una medida complementaria.

CONCLUSIONES

La información revelada en los estados financieros, por lo general, no permite efectuar mediciones cuantitativas de los efectos financieros que pueden tener las empresas expuestas a los efectos adversos del cambio climático.

Particularmente, sí tiene implicancias sobre la capacidad de pago de las obligaciones de una empresa. Sin embargo, no es algo que actualmente sea expuesto –al menos de manera significativa–, como parte de los riesgos financieros.

En lo más reciente, ha habido avances que ponen de relieve la necesidad de disponer de más y mejor información sobre esta materia, Particularmente, la norma de carácter general 461 de la

CMF, emitida en noviembre de 2021, contempla requerimientos de información sobre el cambio climático en las memorias anuales, en el marco del gobierno corporativo referido a la gobernanza y gestión de riesgos.


Este trabajo busca complementar la propuesta metodológica efectuada en un trabajo anterior, en el que se propuso una línea de partida, para continuar avanzando en el entendimiento del riesgo financiero asociado al cambio climático de las empresas chilenas.

Si bien, preliminarmente, se puede considerar que existen variaciones en las exposiciones, según el sector de la economía en el que participen las empresas (agrícola, eléctrico, entre otros), en este trabajo se continuó con la aplicación en el sector vitivinícola, utilizando para ello información pública de los estados financieros enviados a la CMF.

El complemento metodológico consiste en estimar el grado de incertidumbre, el cual se calcula midiendo la entropía de las posibilidades de incumplimiento que las firmas podrían tener, para cumplir con sus obligaciones financieras en el largo plazo, bajo un escenario de materialización de los efectos adversos, provenientes

del cambio climático. Los resultados permitirían plantear que la entropía podría ser una medida que entrega información adicional a la probabilidad de incumplimiento, que es tradicionalmente utilizada en mediciones del riesgo de crédito.

Considerando que el cambio climático posee una dinámica y una regularidad diferente a la de los riesgos financieros tradicionales, debido a los largos lapsos de tiempo en los cuales pueden ser medidos sus efectos y las mayores dificultades de extrapolar la historia, al hacer proyecciones por períodos extensos, no podría descartarse, en principio, la inclusión de la entropía, como una medida complementaria a la probabilidad de incumplimiento, al momento de evaluar la falta de cumplimiento financiero, como consecuencia del cambio climático.

Naturalmente, más importante que los valores obtenidos, el aporte que se busca entregar es continuar avanzando en las definiciones metodológicas, que aborden los efectos financieros asociados al cambio climático, utilizando para esto información contenida en los estados financieros. La necesidad de disponer de información detallada en esta materia es un desafío en curso, si se desea disponer de mayor precisión en las mediciones. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bank for International Settlements (BIS) (2020). "Climate-related financial risks: a survey on current initiatives", April 2020, <https://www.bis.org>.

Brandtner, M., Kürsten, W. y Rischau, R. (2018). "Entropic risk measures and their comparative statics in portfolio selection: coherence vs. convexity". *European Journal of Operational Research*, volume 264, issue 2, January 2018, pages 707-716.

Financial Stability Board (FSB) (2020). "The Implications of Climate Change for Financial Stability", November 2020, <https://www.fsb.org>.

Haghizadeh, A., Siahkamari, S., Haghiabi, A., y Rahmati, O. (2017). "Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model". *Journal of Earth System Science* 126, article number: 39 (2017).

Koh, T. (2015). "Statistical Distributions and Climate Change". *Procedia IUTAM*, part of special issue: IUTAM Symposium on the Dynamics of Extreme Events Influenced by Climate Change, volume 17, 2015, pages 53-58.

Mandel, A., Tiggeloven, T., Lincke, D. et al. (2021). "Risks on global financial stability induced by climate change: the case of flood risks". *Climatic Change* 166, 4 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03092-2>.

Merton, R. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates.

UNEP FI (2018). "Assessing credit risk and opportunity in a changing climate: Outputs of a working group of 16 banks piloting the TCFD Recommendations". Part 1: April 2018. Part II: July 2018.

Ponce, R., Blanco, M., & Giuppono, C. (2014). The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector. A non-linear agricultural supply model. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(4), 404-412.

Schulten, A., Bertolotti, A., Haye, P. & Madaan, A. (2019). Getting physical: Scenario analysis for assessing climate-related risks. BlackRock Investment Institute - Global Insights - April 2019. BII-M0419U-804111-1/20.

International Organization of Securities Commission (IOSCO) (2020). "Sustainable Finance and the Role of Securities Regulators and IOSCO", FR-04/2020, April 2020. Disponible en <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD652.pdf>.

TCFD Implementation Guide: Using SASB standards and the CDSB framework to enhance climate-related financial disclosures in mainstream reporting. (2019). Disponible en <https://www.sasb.org/>.

Wenpo, Y., Yao, W., Yao, D et al. (2020). "Shannon entropy and quantitative time irreversibility for different and even contradictory aspects of complex systems". *Applied Physics Letters* 116(1).

Zhou, R., Cai, R. y Tong, G. (2013). "Applications of Entropy in Finance: A Review." *MDPI*, Volume 15, issue 11, November 2013. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1099-4300/15/11/4909>.