



Sobre la sobrevivencia de los comercializadores de energía en Colombia

**Esneyder González González
Sergio Andrés Orjuela Hidalgo**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Métodos Cuantitativos para
economía y finanzas**

**Asesor
Jorge Barrientos Marín**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Económicas
Maestría Métodos Cuantitativos para Economía y Finanzas
Medellín, Antioquia
2026**

Tabla de contenido

1. Resumen	3
2. Introducción.....	4
3. Revisión de la literatura.....	6
3.1 Análisis de Supervivencia.....	6
3.2 Riesgos financieros en el Mercado de Energía Mayorista colombiano.....	8
3.3 Metodología de Riesgo Financiero en el sector eléctrico	10
4. Marco teórico.....	12
4.1 Modelos de Análisis de Supervivencia	12
4.1.1. Modelos de duración.....	12
4.1.2. Modelo de Cox.....	13
4.1.3. Modelo de Cox modificado por Andersen-Gill (AG).....	14
4.1.4. Modelo de Cox con Fragilidad (Frailty)	15
4.1.5. Supuestos estadísticos en el análisis de supervivencia	16
4.2 Caracterización del Mercado de Energía colombiano	17
4.3 Regulación en el mercado eléctrico colombiano	20
5. Datos y Metodología	23
5.1 Variables	24
5.2 Metodología empírica	26
6. Resultados.....	28
6.1. Estadísticas descriptivas	28
6.2. Resultados principales	37
7. Conclusiones.....	50
8. Bibliografía.....	52

1. Resumen

El mercado eléctrico colombiano está caracterizado entre otras cosas por la dinámica regulatoria y las variaciones en los precios por una matriz de generación de energía en desarrollo; estos factores determinan los intercambios de energía mediante contratos bilaterales y transacciones en la bolsa de energía, generando incrementos en los niveles de exposición de las empresas que lo conforman. Tales niveles afectan la probabilidad de sobrevivencia empresarial, que está condicionada por la capacidad de respuesta financiera de las compañías ante las obligaciones adquiridas y las dinámicas económicas presentes entre los distintos agentes y las variables del mercado. Las metodologías de medición de los riesgos financieros resultan relevantes para analizar las posibles pérdidas económicas ante los incumplimientos en las obligaciones financieras de las empresas que conforman el mercado mayorista, que pueden resultar en una afectación sistémica, deteriorando a otras empresas o la calidad u oportunidad de la prestación del servicio de energía eléctrica.

Así, se plantea un modelo de sobrevivencia aplicado a un panel de datos, utilizando el modelo de Cox en su extensión propuesta por Andersen-Gill, incluyendo el término de fragilidad para capturar la heterogeneidad no observada entre agentes comercializadores en el Mercado de Energía Mayorista colombiano. El objetivo es identificar los factores financieros, regulatorios y de mercado que condicionan la capacidad de permanencia de estos agentes. Los resultados muestran que no todas las variables asociadas a las razones de liquidez, rentabilidad, gestión, solvencia y endeudamiento condicionan a los comercializadores, siendo la variación EBITDA y la razón entre el patrimonio y los activos aquellas que efectivamente logran hacerlo; igualmente, se determina que los incumplimientos mensuales, la prestación del servicio a usuarios finales y los niveles de exposición en bolsa, afectan la capacidad de sobrevivencia en el mercado mayorista colombiano.

Palabras clave: Análisis de sobrevivencia, modelos de duración, Riesgo de Crédito, Riesgo Financiero, Mercado de Energía Mayorista Colombiano, Comercialización de energía eléctrica.

2. Introducción

Existen fenómenos endógenos y exógenos en cada sector de la economía que pueden afectar a las empresas financieramente y suponer pérdidas en los capitales de inversión, insumos y distintos factores que componen las relaciones de oferta y demanda en el sistema económico (Támara Ayús & Villegas Arias, 2021). De esta manera, desde la década de 1960, se han desarrollado modelos matemáticos y estadísticos para anticipar quiebras empresariales, como el modelo Z de Altman (Hernández & Ramírez, 2014). En el Mercado de Energía Mayorista -MEM- colombiano, el relacionamiento entre agentes comercializadores y generadores exhibe riesgos financieros (riesgo de cartera, riesgo de contraparte y riesgo sistémico), los cuales deben ser monitoreados por medio de distintos modelos y/o metodologías y gestionados a través de regulaciones, debido a que ante recurrentes o prolongados incumplimientos de un agente comercializador, este podría exponer a los usuarios finales a una posible desconexión del servicio de energía eléctrica o aumentar los niveles de exposición en la bolsa de otras empresas, implicando situaciones de estrés financiero y afectaciones económicas en el sistema económico general.

En este contexto, la Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG-, entidad responsable regular el sector eléctrico en Colombia, ha expedido diferentes resoluciones asociadas al riesgo financiero derivado de la morosidad en el pago de los agentes y usuarios; la Resolución CREG 024 de 1995 establece el riesgo de cartera existente en las transacciones en la bolsa de energía entre los agentes participantes (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1995) y la Resolución CREG 180 de 2014, aborda el riesgo de cartera en la prestación del servicio de energía eléctrica a los usuarios regulados por parte de los comercializadores (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2014).

Este estudio se realiza en torno a un mercado de energía cambiante, en el que predominan desafíos financieros detrás de la limitada matriz de generación de energía y su alta dependencia al recurso hídrico. La ausencia de diversificación puede llegar a potencializar los niveles de riesgo en el suministro de la energía, la confiabilidad del sistema y la exposición financiera de los agentes que integran el mercado colombiano. Para esto, a través de los cambios regulatorios, se ha pretendido estabilizar la dinámica existente en la conformación de los precios, por medio de la reducción en la volatilidad, el fomento de mecanismos de contratación de corto y largo plazo, y la reducción de la exposición en la bolsa de energía de las empresas comercializadoras prestadoras del servicio de energía. Sin embargo, la dinámica del mercado eléctrico conlleva a diversos escenarios de estrés financiero para cada agente, por lo que, este estudio busca caracterizar en qué medida los factores financieros y de mercado afectan la capacidad de sobrevivencia de los agentes comercializadores en el MEM, para así prever los posibles efectos que pueden existir en el mercado de energía y en el sistema económico colombiano.

Por lo anterior, se tiene como objetivo realizar un análisis de sobrevivencia a través de la aplicación de modelos de duración, para identificar los principales factores que condicionan la permanencia de los agentes comercializadores en el mercado colombiano de energía durante el periodo comprendido entre el año 2018 y 2022, con la finalidad de anticipar los posibles efectos de la aplicación de medidas regulatorias como la Limitación de Suministro (Resolución CREG 116 de 1998) o el Retiro del Mercado (Resolución CREG 156 de 2011), ante el incumplimiento de obligaciones financieras con el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC-.

Asimismo, por medio de este trabajo se aportará al entendimiento de la contribución de los modelos de supervivencia y sus aplicaciones financieras en el mercado de energía eléctrico; siendo este, un tema que es relevante para el país, por las alertas financieras

tempranas que puede brindar a las autoridades y al administrador del mercado eléctrico. Además, se pretende contrastar los resultados expuestos por la evidencia empírica con un modelo estadístico para determinar los factores financieros y del mercado de energía colombiano que determinan el desarrollo de las empresas comercializadoras y la consolidación de estas en el mercado mayorista, convirtiéndose en una alternativa a los modelos financieros aplicados a la fecha en el sector, para la toma de decisiones y recomendaciones de política a los entes de vigilancia y control.

3. Revisión de la literatura

3.1 Análisis de Supervivencia

El análisis de riesgos financieros ha experimentado una evolución significativa, desde la década de 1960, se han desarrollado modelos matemáticos y estadísticos para prever situaciones de estrés financiero, con pioneros como Beaver (1966) y Altman (1968) destacando en el área financiera. A partir de estos hitos investigativos, la relevancia del análisis del riesgo financiero se ha intensificado, especialmente, con el surgimiento de los acuerdos de Basilea II y III, los cuales han exigido un mayor énfasis y control mediante metodologías más robustas para la medición del riesgo de crédito. Pese a que, de cara al mercado de energía colombiano no se han realizado estas aplicaciones, se reconoce la importancia de aplicar modelos de duración para estimar los tiempos de falla, por lo que se han realizado aplicaciones por investigadores para determinar la supervivencia de las empresas ante situaciones de estrés financiero por medio de modelos estadísticos y matemáticos para analizar la dinámica de riesgo.

Por un lado, en el estudio *Stratified-extended Cox model in survival modeling of non-proportional hazard* se realiza una simulación para evaluar cinco modelos de análisis de supervivencia, incluido el modelo de Cox extendido y estratificado, para los cuales este último presenta resultados relativamente inferiores en términos de sesgo y media cuadrática del error, a su vez, sobresale en métricas como AIC, BIC y Loglik, indicando un mejor ajuste

cuando las tasas de riesgo de covariables no son constantes ni proporcionales en el tiempo (Ratnaningsih, Saefuddin, Kurnia & Mangkum, 2019). También, en el estudio *The recurrence of financial distress: A survival analysis* se realiza una aplicación de un Modelo de Intensidad Condicional Estratificado, que permitió ajustar modelos de riesgos proporcionales de Cox dentro de grupos homogéneos (estratos) para capturar la variabilidad en la relación entre las covariables y el riesgo a lo largo del tiempo o en diferentes grupos, para una muestra de entidades de China en medio de situaciones de “Estrés Financiero”, concluyendo así, que las variables financieras, de gobierno y estructura corporativa, la eficiencia corporativa e información de mercado y la macroeconómica, permiten predecir cuándo se presentará una situación de bancarrota y establecen la duración de una crisis como insumo fundamental (Zhou, 2022). Asimismo, en el estudio *Predicting financial distress: A comparison of survival analysis and decision tree techniques* por medio del Modelo de Cox, el Árbol de Decisión (CART), el Análisis Discriminante y la Regresión Logística, pretenden determinar cuál ofrece los mejores resultados en la predicción de situaciones de estrés financiero o quiebra a través de un panel de datos que considera patrones de incumplimiento como señales de estrés financiero en variables que abarcan medidas de liquidez, rentabilidad, eficiencia, tamaño de empresa, entre otras. Los autores encuentran que las técnicas de análisis de supervivencia son apropiadas para desarrollar un modelo único para predicciones de distintas duraciones y para analizar las dificultades financieras a lo largo del tiempo (Gepp & Kumar, 2015).

Por otro lado, en el estudio *Survival mixture models in behavioral scoring* se realizó un marco general de modelos de mezcla de supervivencia -SMMs- para determinar los niveles de riesgo crediticio, incorporando estrategias para captar la heterogeneidad no observada existente en clientes de una entidad financiera, por medio de clusters de los clientes según distintos niveles de riesgo. En este estudio, se concluye que la tasa de riesgo es

creciente en el tiempo y la segmentación de clientes es correcta para realizar predicciones de impago. Así, estos refuerzan a los modelos de supervivencia tradicionales, concluyendo que son adecuados para medir la probabilidad del impago y el tiempo esperado para su ocurrencia, así como el *default* posterior a uno o varios impagos a lo largo del tiempo, indicando que la tasa de supervivencia tiende a cero con el paso de los periodos (Alves & Dias, 2015). El estudio *The dynamics of bank debt renegotiation in Europe: A survival analysis approach* empleó un análisis de supervivencia por medio de la aplicación de modelos de riesgos proporcionales tipo Cox, considerado adecuado para datos de tiempo de falla múltiple, con el objetivo de estudiar la dinámica de renegociación de contratos de deuda bancaria en Europa; donde se concluye que estos modelos permiten capturar los tiempos de falla en función de variables macroeconómicas, contractuales e institucionales (Godlewski, 2015).

Por último, en el estudio *Un modelo de alerta temprana para el sistema financiero colombiano*, se empleó un sistema de alertas tempranas para estimar los cambios de estado de créditos comerciales otorgados por un banco, para identificar los determinantes del deterioro de la calidad de la cartera que conllevaría a situaciones de estrés financiero, a través de un modelo de duración con una especificación semi-paramétrica mediante el método de Cox para variables financieras, concluyendo que factores como apalancamiento, tamaño, rentabilidad, morosidad, calidad promedio del agente, liquidez, PIB y la tasa de interés resultan ser significativos para determinar momentos de estrés financiero (Gómez-González & Orozco Hinojosa, 2010).

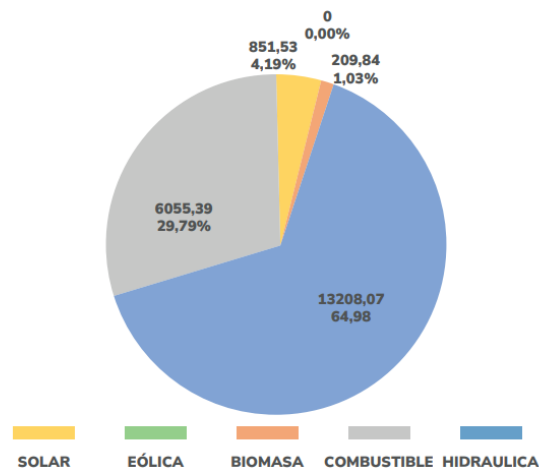
3.2 Riesgos financieros en el Mercado de Energía Mayorista colombiano

El mercado de energía en Colombia es cambiante y exhibe riesgos financieros, en parte, por la matriz de generación de energía mayoritariamente dependiente del recurso hídrico y de combustibles fósiles (Ver gráfica 1). Esta limitada diversificación podría

potencializar los niveles de riesgo de suministro, la confiabilidad del sistema e incluso problemas financieros en el sector, el mercado asociado y en los agentes económicos.

Gráfica 1

Composición de la matriz energética en Colombia



Nota. Adaptado de Informe Memorias al Congreso. Ministerio de Minas y Energía. 2024

Es importante resaltar que, los mercados de energía en todas las regiones del mundo están expuestos a riesgos que conllevan la interrupción del suministro de energía a los usuarios finales, Korner (2022) afirma que existen numerosos ejemplos donde personas en diferentes países y regiones se quedaron sin acceso a energía.

La estructura del mercado de energía permite reconocer tres principales riesgos financieros en el mercado (Gil, 2018); el primero, asociado a la variabilidad de precios y exposición en la bolsa que pueden tener los agentes, el segundo con el riesgo crédito cuando se presentan empresas con una capacidad financiera ineficiente, asumiendo obligaciones ante el mercado, superiores a las propias capacidades de la empresa y el tercero, sobre el riesgo sistémico que es definido como las consecuencias que afectan a toda la estructura de un mercado interconectado cuando una parte o conjunto de este presenta una falla ocasionando un efecto negativo en cascada o “dominó” ocasionado ante las interrelaciones existentes ante los mecanismos de contratación bilateral de energía. (C5.22 - CIGRE Working Group, 2019).

También, en el MEM existe un riesgo asociado al Fenómeno climático ENSO -Niño-, en el cual, se presentan épocas prolongadas de sequía, afectando los niveles de disponibilidad

hídrica en los embalses, lo que puede llegar a ser crítico para el suministro de energía en el Sistema de Interconectado Nacional -SIN-. Por lo anterior, se podría decir que, Colombia es un país con una vulnerabilidad hidrológica desde el punto de vista eléctrico, debido a que la matriz energética del país depende directamente del recurso hidráulico, pero al materializarse fenómenos climáticos como el Niño, la disponibilidad de la oferta hidráulica es insuficiente para cubrir estas contingencias (Barrera y García, 2010). Debido a lo anterior, en los últimos años, la CREG ha implementado medidas permanentes y transitorias emitidas a través de Resoluciones, con el objetivo de salvaguardar el funcionamiento adecuado del sistema eléctrico colombiano y sus integrantes, entre los que para finalidades del estudio se destacan los agentes comercializadores, dado que estos representan el riesgo de prestación del servicio de la energía eléctrica.

3.3 Metodología de Riesgo Financiero en el sector eléctrico

La Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones - ANDESCO- por medio del artículo “*Propuesta para modificar la Resolución CREG 072 de 2002*”, propone la modificación de la Resolución CREG 072 de 2002, en la cual se presenta un metodología para clasificar los prestadores de servicios públicos, según el nivel de riesgo y define los criterios, metodologías, indicadores, parámetros y modelos de carácter obligatorio que permiten evaluar su gestión y resultados (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2002). Este artículo, expone una propuesta de medición de riesgos desde la perspectiva financiera, técnico-administrativa y de mercado para garantizar la gestión de las empresas de energía eléctrica y gas, a través de señales tempranas en los comportamientos de los organismos encargados de esta tarea, enfocado en las exigencias y realidades actuales del mercado. Allí, por medio de ponderaciones para indicadores de liquidez, rentabilidad, gestión, solvencia y endeudamiento se diseñó una metodología de clasificación de riesgo financiero. Los resultados obtenidos se compararon con los valores teóricos definidos a través

del criterio experto desarrollado por asociados de la ANDESCO para proponer a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD- la necesidad de estimar y realizar acciones preventivas con el fin de mitigar el riesgo de desconexión y/o afectación a los usuarios finales. (ANDESCO,2014).

Dentro de los resultados principales se encuentra que:

“Se verificó el comportamiento del modelo frente a los agentes retirados del mercado y aquellos agentes con procedimientos de limitación de suministro mayor a 6 días. Este análisis dio como resultado que dichos agentes, para el periodo de tiempo evaluado, presentaban un nivel de riesgo financiero medio y alto”
(ANDESCO,2014).

Por lo anterior, se evidencia que, en los estudios de análisis de riesgo financiero, los indicadores financieros y los procedimientos de limitación de suministro y retiro son considerados como significativos para establecer sistemas o modelos de alertas temprana.

En el estudio *Indicadores de alerta temprana del riesgo de crédito para el Mercado de Energía Mayorista Colombiano*, se estableció como objetivo identificar variables críticas o indicadores que sirvan como alertas tempranas para el monitoreo del riesgo de crédito del MEM. Se consideraron indicadores financieros fundamentados en el estudio desarrollado por la ANDESCO, datos históricos asociados al Procedimiento de Limitación de Suministro, el estado del agente y la exposición en la bolsa de energía, definida como el nivel de respaldo que poseen los agentes a sus compromisos de venta. Se empleó un modelo Logit y distintas pruebas estadísticas para medir la significancia de las variables de la exposición en bolsa, cubrimiento de los gastos financieros y el margen EBITDA, con el objetivo de medir la probabilidad de que un agente sea retirado y proporcionar una clasificación del riesgo

teniendo en cuenta la periodicidad de los Procedimientos de Limitación de Suministro iniciados, para establecer un modelo de alertas tempranas de riesgo de crédito en el MEM (Buritica, 2014).

Asimismo, en el estudio *Metodología de Análisis del Riesgo financiero en el Mercado De Energía Mayorista Colombiano* se desarrolló una metodología para el análisis y monitoreo del riesgo de mercado a los cuales se ven expuestos los agentes del MEM, para dar alertas tempranas a las entidades de vigilancia y control; asimismo, el desarrollo de nuevas resoluciones para mitigar los riesgos que afecten a los agentes y sus usuarios finales. La metodología comprende la medición del riesgo en tres etapas, la primera aplicando una clasificación de acuerdo con los indicadores financieros propuestos por la ANDESCO, la segunda incorporando variables del mercado y la tercera realizando una estimación del riesgo sistémico que generen afectaciones a otros agentes y/o usuarios finales ante deterioros en los niveles de liquidez y financieros de un agente que no cumpla con sus obligaciones (CIER, 2017).

4. Marco teórico

4.1 Modelos de Análisis de Supervivencia

4.1.1. Modelos de duración

Los modelos de duración o modelos de supervivencia hacen referencia a una metodología estadística diseñada para estudiar el tiempo transcurrido hasta que ocurre un evento de interés, permitiendo trabajar adecuadamente con observaciones incompletas (Jenkins, 2004). Dos conceptos clave en este análisis son la función de supervivencia y la tasa de Hazard (Klein, J. P., & Moeschberger, M. L., 1997). Por un lado, siendo T una variable aleatoria continua que describe el tiempo transcurrido hasta el evento de interés en un

individuo cuya función de distribución acumulada está dada por $F(t)$ y su función de densidad de probabilidad es $f(t)$. La anterior se define como:

$$P(T > t) = 1 - F(t) = S(t)$$

Por otro lado, la tasa de Hazard o función de riesgo $\lambda(t)$ representa la probabilidad instantánea de que ocurra el evento en el siguiente instante, dado que el individuo ha sobrevivido hasta el tiempo t . La anterior, se define como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$$

4.1.2. Modelo de Cox

Existe una alternativa semiparamétrica ampliamente utilizada, el modelo de riesgos proporcionales de Cox (Cox, D. R., 1972). Este permite analizar el efecto de covariables sobre la Tasa de Hazard sin necesidad de especificar la forma funcional de la función de riesgo base. Así, este modelo se presenta como una herramienta metodológica adecuada. Entonces, para un conjunto de covariables $X_1, X_2, \dots, X_p$ el modelo de regresión de Cox se define como:

$$\lambda(t | X) = \lambda_0(t) \cdot \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p)$$

Donde:

- $\lambda(t | X)$: es la tasa de hazard en el tiempo t para un individuo con covariables $X_1, X_2, \dots, X_p$
- $\lambda_0(t)$: es la función de riesgo base, que describe cómo varía el riesgo a lo largo del tiempo cuando todas las covariables son cero.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: son los coeficientes asociados a cada covariable, que cuantifican el efecto de cada factor sobre el riesgo.

- $\exp(\beta_j)$: representa el riesgo relativo asociado a un incremento unitario en la covariable X_j .

Ahora bien, el modelo de riesgos proporcionales de Cox examina el tiempo recorrido hasta el primer evento de interés, sin embargo, ante la posibilidad de existencia de los datos de eventos de falla múltiple, se desperdicia información relevante asociada a los demás eventos de ocurrencia, así los eventos recurrentes, violan el supuesto inicial de independencia entre los eventos requeridos en el análisis de supervivencia tradicional de Cox. (Godlewski, 2015).

4.1.3. Modelo de Cox modificado por Andersen-Gill (AG)

Este modelo permite estudiar la intensidad de ocurrencia de eventos recurrentes en presencia de censura y covariables dependientes del tiempo, manteniendo la estructura semi paramétrica del modelo de Cox (Andersen, P. K., & Gill, R. D., 1982). En este enfoque, cada evento se modela como una ocurrencia dentro de un proceso de conteo, y la tasa de Hazard se define como:

$$\lambda_i(t | X_i(t)) = Y_i(t) \cdot \lambda_0(t) \cdot \exp(\beta_1 X_{i1}(t) + \beta_2 X_{i2}(t) + \dots + \beta_p X_{ip}(t))$$

Donde:

- $\lambda_i(t | x_i(t))$: es la tasa de riesgo a ocurrencia de un nuevo evento, dado que el individuo ha experimentado eventos previos.
- $Y_i(t)$: es un proceso indicador de riesgo del individuo i .
- $\lambda_0(t)$: es la función de riesgo base, que describe cómo varía el riesgo a lo largo del tiempo cuando todas las covariables son cero.
- $X_i(t)$: es el conjunto de covariables observadas asociadas al individuo i , las cuales pueden variar en el tiempo.

- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: son los coeficientes asociados a cada covariable, que cuantifican el efecto de cada factor sobre el riesgo.
- $\exp(\beta_j)$: representa el riesgo relativo asociado a un incremento unitario en la covariable X_j .

Según (Thenmozhi, 2019), esta estructura del modelo deduce que la correlación entre la ocurrencia de eventos en un mismo individuo se puede explicar con los eventos que han transcurrido en el pasado, cuya dependencia es explicada por las covariables consideradas en el modelo. Este enfoque permite que cada intervalo de riesgo contribuya al conjunto de riesgo, independientemente del número de eventos que haya experimentado el agente.

4.1.4. Modelo de Cox con Fragilidad (Frailty)

La fragilidad se refiere a la heterogeneidad no observada entre individuos, es decir, aquellas diferencias que no pueden ser explicadas por las covariables consideradas en el modelo (Jenkins, 2004). Esta se introduce formalmente en los modelos de sobrevivencia mediante un efecto aleatorio sobre la función de riesgo, así:

$$\lambda_{ik}(t) = Z_i \cdot \lambda_0(t) \cdot \exp(\beta X_i(t))$$

Donde:

- Z_i corresponde al término de fragilidad, siendo una variable aleatoria con media unitaria, varianza finita e independiente del tiempo y de las covariables observadas, que representa la propensión individual del agente al evento.
- $\lambda_0(t)$: es la función de riesgo base, que describe cómo varía el riesgo a lo largo del tiempo cuando todas las covariables son cero y la fragilidad tiene media unitaria.
- $X_i(t)$: es el conjunto de covariables observadas asociadas al individuo i , las cuales pueden variar en el tiempo.

- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: son los coeficientes asociados a cada covariable, que cuantifican el efecto de las covariables observadas sobre el riesgo instantáneo del evento

La especificación más utilizada para la fragilidad es la distribución Gamma. Una baja varianza en la variable de fragilidad indica que los eventos son casi independientes, mientras que una varianza alta sugiere una fuerte correlación entre ellos. A su vez, altos niveles de fragilidad representan mayor riesgo y, así, menor tiempo de supervivencia; por el contrario, valores bajos representan menor riesgo y sobreviven más tiempo. Asimismo, considerar la fragilidad en los modelos de supervivencia es importante para evitar sesgos en la estimación de los efectos de las covariables y obtener inferencias más precisas, especialmente cuando existen sospechas de contar con factores no observados que afectan el riesgo de supervivencia. Ignorar la heterogeneidad no observada puede llevar a subestimar la duración esperada y a interpretar incorrectamente la dependencia temporal de los eventos (Jenkins, 2024).

4.1.5. Supuestos estadísticos en el análisis de supervivencia

Reconocer y validar los supuestos en los modelos estadísticos, garantizan la solidez y confiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de estimación. En el contexto de los modelos de supervivencia para datos de eventos recurrentes, el análisis de los residuos constituye una herramienta clave para evaluar la adecuación del ajuste y la correcta especificación del modelo. Por tanto, se espera que los residuos se distribuyan aleatoriamente alrededor de cero y sin presentar patrones sistemáticos en función del tiempo o de las covariables. La ausencia de tendencias o agrupamientos en los residuos indica que el modelo captura adecuadamente la relación entre las covariables y el riesgo de ocurrencia de los eventos. Dado que un mismo individuo puede experimentar eventos recurrentes, es

importante considerar la correlación de los residuos dentro de cada sujeto por medio de estimadores robustos de la varianza y del análisis de residuos agrupados por individuo. Si existe presencia de correlaciones elevadas o patrones sistemáticos en los residuos puede indicar la necesidad de ajustes adicionales, como la inclusión de términos dependientes del tiempo, transformaciones de covariables o la consideración de efectos de fragilidad.

Por un lado, los residuos de Martingala pretenden diagnosticar la forma funcional y la adecuación del modelo respecto a las covariables incluidas, identificando si el modelo captura correctamente la relación entre las covariables y el riesgo de ocurrencia de los eventos. Paralelamente, los residuos de Devianza son especialmente útiles para la detección de valores atípicos y la influencia de observaciones individuales en el ajuste del modelo (Therneau & Grambsch, 2000).

Por otro lado, la ausencia de proporcionalidad de riesgos en el tiempo puede inducir a problemas de convergencia, estimaciones sesgadas y pérdida de interpretación de las tasas de riesgo como constantes en el tiempo. El cumplimiento de supuesto establece que el efecto de cada covariable sobre el riesgo es multiplicativo y permanece constante durante todo el periodo de observación:

$$\frac{h(t | X_i)}{h(t | X_j)} = \exp [\beta^T (X_i - X_j)]$$

Para validar este supuesto, se utiliza el método propuesto por Grambsch y Therneau (1994), que se basa en el análisis de los residuos de Schoenfeld. Bajo la hipótesis nula, estos residuos no deben mostrar correlación con el tiempo, lo que indicaría que el supuesto de riesgos proporcionales se cumple en el modelo.

4.2 Caracterización del Mercado de Energía colombiano

El Mercado de Energía Mayorista -MEM-, se caracteriza por la interacción comercial entre los distintos agentes que lo componen (Generadores, transmisores, distribuidores y comercializadores), los cuales intervienen para prestar el servicio de energía eléctrica a los usuarios finales de una manera segura, confiable y económica. Esto se garantiza a través del cumplimiento de las normas o resoluciones de ley desarrolladas por los organismos de control del sector. Las relaciones existentes entre los agentes del mercado de energía están fundamentadas en el marco de un mercado económico caracterizado por la oferta y demanda de un bien y/o servicio, en el cual se pretende maximizar las utilidades de cada actor que interviene en este. Así, el MEM se caracteriza principalmente por la interacción entre agentes comercializadores y generadores. Donde un agente comercializador, es toda persona natural o jurídica que comercializa electricidad, que se caracteriza por realizar una actividad consistente en la compra de energía eléctrica y su venta a los usuarios finales, regulados o no regulados, que está sujeta a las disposiciones previstas en las leyes del sector eléctrico y de servicios públicos domiciliarios (XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P., s. f.)

Es importante resaltar que, a pesar de la existencia de mecanismos de contratación de energía a largo plazo, actualmente el MEM se caracteriza por las negociaciones a través de contratos bilaterales entre agentes para la asignación de energía y en el mercado spot por medio de la bolsa de energía. Los contratos bilaterales entre agentes son pactados de acuerdo con la disponibilidad del recurso y el grado de exposición en la bolsa que existente entre los comercializadores y/o generadores, sin obedecer a horizontes temporales definidos (Aguilar, A., & Díaz, J, 2004).

Las transacciones en el mercado de corto plazo (spot) son el resultado de un mercado en el cual la oferta de energía obedece a comportamientos oligopólicos, a través de ofertas de cantidades específicas de energía a un determinado precio, donde se incluyen los costos fijos

y variables, los cuales según la evidencia empírica están determinados altamente por las condiciones climáticas (Barrientos & Toro, 2015). Por tanto, las transacciones en la bolsa son liquidadas con base en la generación ideal y la energía existente en los contratos de los agentes generadores, así como por la demanda de energía y los contratos de los agentes comercializadores, en la cual, se debe satisfacer la demanda total del Sistema Interconectado Nacional -SIN- con base en los recursos de generación y la energía del mercado spot. Este último representa un mecanismo vulnerable a la volatilidad de los precios de la energía eléctrica de corto plazo, puesto que en periodos de alta variabilidad hidrológica los agentes deben comprar la energía en bolsa para cubrir sus obligaciones, implicando exigencias financieras para adquirir esta energía y garantizar su operación comercial. El incumplimiento de estas obligaciones puede desencadenar en la aplicación de las penalizaciones establecidas por la CREG relacionadas con la gestión de cartera y de riesgo de crédito.

Sin embargo, según lo expuesto por Fedesarrollo, este mercado tiene distintos problemas asociados:

“ Los precios han crecido en términos reales, en parte porque hay competencia reducida en el mercado mayorista y en parte por los costos crecientes de los GRH; (ii) existe riesgo sistémico en generación por la concentración en hidroelectricidad; (iii) la entrada al mercado mayorista es difícil para proyectos a gas y FERNC; (iv) la arquitectura de mercado está desalineada con los avances internacionales; y (v) la regulación está distante de las prácticas de los países líderes ” (Benavides, 2018).

De esta manera, es posible identificar que las transacciones de energía en contratos bilaterales y en el mercado spot representan un rol fundamental en la capacidad financiera de los agentes comercializadores y generadores por motivos como la estructura del mercado, la

volatilidad de precios, los mecanismos de contratación, las transacciones realizadas en la bolsa de energía, la matriz de generación y los riesgos regulatorios asociados al mercado.

4.3 Regulación en el mercado eléctrico colombiano

El funcionamiento del Mercado de Energía Mayorista en Colombia está regulado por entidades como la Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG-, el Ministerio de Minas y Energía -MME-, La Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME- y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD-. Así, XM, Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC-, Operador del Centro Nacional de Despacho -CDN- y Liquidador y Administrador de Cuentas -LAC- implementa y aplica dichas regulaciones en el MEM.

Entre las resoluciones más relevantes para el control de la viabilidad financiera y operativa de los prestadores del servicio se encuentran:

- Las Resoluciones CREG 116 de 1998, CREG 001 de 2003 y 156 de 2011, establecen los procedimientos para la Limitación de Suministro de energía a usuarios finales, la limitación de suministro en la bolsa de energía y el retiro del MEM ante incumplimientos financieros o documentales por parte de los comercializadores. Estas hacen parte de la gestión de cartera llevada a cabo por el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC-, en las que en conjunto con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD- vigilan y mitigan los riesgos asociados a la desconexión del servicio de energía eléctrica, riesgos financieros entre agentes y el retiro del mercado, ante incumplimientos financieros y/o documentales. (Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], 1998, 2003, 2011).
- La Resolución CREG 024 de 1995, introduce los particulares para la liquidación, facturación y administración de las cuentas provenientes de las transacciones en la bolsa de energía, estableciendo plazos regulados y los riesgos de cartera del MEM de

los agentes acreedores a causa de las transacciones en la bolsa de energía ante incumplimiento en las obligaciones. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1995).

- La Resolución CREG 019 de 2006, define los mecanismos de cubrimiento de las obligaciones futuras en la bolsa de energía y los cargos por uso del sistema, con base en la actividad en el mercado de los agentes para reducir el riesgo de cartera a través los pagos anticipados, las garantías bancarias y cesión de derechos de crédito (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2006).
- La Resolución CREG 119 de 2007 establece la fórmula tarifaria general para determinar los costos de la prestación del servicio de energía eléctrica a usuarios finales regulados por medio del Costo Base de Comercialización -CBC- y el Margen de Comercialización según los costos fijos y variables relacionadas con la operatividad, gestión comercial, cambios en la demanda y las condiciones del mercado (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2007).
- La Resolución CREG 180 de 2014 establece los criterios generales para la remuneración de la actividad de comercialización de energía eléctrica, promoviendo una formulación tarifaria para la prestación del servicio bajo principios económicos y sociales. Esta misma incorpora el riesgo de cartera como un componente incluido en el esquema de remuneración, en la que calcula el impago de los usuarios regulados, que puede afectar la liquidez y sostenibilidad financiera de los comercializadores (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2014).

Por otro lado, a raíz del COVID-19, se implementaron medidas transitorias para aliviar la presión financiera sobre los comercializadores, tales medidas han impactado las variables del mercado medidas por XM y utilizadas para este estudio, toda vez que han

afectado los precios y las cantidades de la energía en contratos y en la bolsa, y, por ende, los porcentajes de exposición en bolsa de estos comercializadores. Tal es el caso de:

- La Resolución CREG 012 de 2020, establece el mecanismo de opción tarifaria, permitiendo diferir aumentos abruptos en las tarifas trasladadas al usuario final (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020). Sin embargo, este mecanismo generó la acumulación de saldos positivos en los comercializadores, afectando su flujo de caja y generando afectaciones financieras en general, a pesar de proteger a los usuarios finales ante la contingencia mundial que afectó las variables micro y macroeconómicas.
- La Resolución CREG 060 de 2020 permitió el diferimiento de pagos de facturas emitidas por el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC- y el Liquidador y Administrador de Cuentas -LAC- hasta por 24 meses, lo cual contrarrestó parcialmente las afectaciones derivadas de la opción tarifaria, por medio de la financiación de las obligaciones liquidadas y facturadas por XM (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020).
- La Resolución 101 027 de 2022, mediante la cual se fundamentó el cambio el índice de precios del productor -IPP- por el índice de precios del consumidor -IPC- como variable indexadora del Costo Unitario -CU- del servicio de comercialización de energía eléctrica para evitar incrementos en las tarifas que pudieran comprometer la capacidad de pago de los usuarios finales y aumentar el riesgo de cartera para los comercializadores (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2022).
- La Resolución CREG 101 029 de 2022 permitió modificar las condiciones de pago de los contratos de largo plazo y diferir las obligaciones de los comercializadores, con el fin de mitigar el deterioro financiero derivado de la acumulación de los saldos positivos por la opción tarifaria (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2022) ,

sin embargo, esta Resolución tuvo cinco modificaciones adicionales, ampliando los plazos de aplicación, convirtiéndose en un espiral negativo para las finanzas de los agentes comercializadores.

Adicionalmente, el MME mediante la Resolución 40611 de 2023 y el Decreto 1637 de 2023, suspendieron temporalmente los programas de limitación de suministro para comercializadores con saldos acumulados de la opción tarifaria y autorizó la creación de una línea de crédito por parte de Findeter, destinada a empresas de distribución y comercialización con saldos positivos acumulados producto de esta misma (Ministerio de Minas y Energía, 2023)

Recientemente, las Resoluciones CREG 101 066 de 2024 y CREG 101 076 de 2025 han buscado mitigar el impacto de la volatilidad tarifaria del componente de comercialización al usuario final y otorgar alivios financieros para las empresas del sector a través de flexibilizaciones en los esquemas de garantías y pagos anticipados, respectivamente (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2024, 2025).

Por todo lo anterior, se puede evidenciar que la dinámica regulatoria puede tener efectos en la estabilidad financiera de los agentes comercializadores. La acumulación de medidas transitorias y en general, modificaciones estructurales del sector, pueden causar un deterioro en los indicadores financieros, afectando la capacidad de cumplimiento de obligaciones financieras y contractuales, la gestión de cartera y la continuidad del servicio de energía eléctrica.

5. Datos y Metodología

Para analizar los factores que inciden en la permanencia de los agentes comercializadores en el mercado de energía colombiano, este estudio aplica modelos para el análisis de sobrevivencia de los agentes comercializadores del MEM que presenten transacciones en la bolsa de energía, contratos de compra/venta registrados y/o realicen la

prestación del servicio de energía eléctrica a usuarios finales durante el periodo de análisis. Para efectos de este análisis, se define la sobrevivencia como el tiempo transcurrido hasta el incumplimiento en el pago de las obligaciones financieras establecidas en la Resolución CREG 024 de 1995 y CREG 019 de 2006, dado que dicho incumplimiento puede desencadenar medidas regulatorias como la Limitación de Suministro o el Retiro del Mercado, con implicaciones significativas para la estabilidad del sistema eléctrico.

En este trabajo se utiliza información mensual del el Sistema Único de Información - SUI- administrado por la SSPD, desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022. También son extraídas desde las fuentes de información del ASIC, las variables asociadas al MEM. La motivación para la selección de las variables a continuación presentadas en la sección 5.1 de este trabajo, corresponde al creciente interés por parte de las autoridades de vigilancia y control para poder identificar las señales tempranas de riesgo financiero que puedan tener efectos sistémicos en el mercado eléctrico.

Ahora bien, es clave destacar que los fundamentales de la metodología de riesgo sistémico y de ahora en adelante en este trabajo, son los establecidos en la Resolución CREG 072 de 2002, en la que se establece una metodología para clasificar las personas prestadoras de los servicios públicos, de acuerdo con el nivel de riesgo, la cual es tratada por la ANDESCO y en el trabajo de investigación “*Metodología de Análisis del Riesgo Financiero en el Mercado De Energía Mayorista Colombiano*”, lo anterior presentado en la sección 3.3 *Metodología de Riesgo Financiero en el sector eléctrico* del presente trabajo.

5.1 Variables

Las variables extraídas del SUI corresponden a la información financiera con la que se calculan las razones financieras de Liquidez, Rentabilidad, Gestión, Solvencia y Endeudamiento. Esta información corresponde a la reportada por cada comercializador al

ente de vigilancia o a la información financiera reportada en los estados financieros de cada compañía. Del administrador del MEM, se extraen variables que incluyen la demanda nacional, compras y ventas en contratos, compras y ventas en bolsa, expresadas en energía (kWh) y en unidades monetarias (\$COP) a partir de los precios de los contratos y del precio de bolsa. Se incluye una variable binaria que indica si el agente presentó o no incumplimientos financieros en un mes en particular.

Asimismo, se incluye una medida del número total de incumplimientos de un agente comercializador en un mes. Se incluye una variable categórica indicando si el agente comercializador está o no integrado con su agente distribuidor, es decir, es un agente comercializador incumbente. Se incluye una variable asociada al valor neto a pagar o recibir producto de la liquidación de transacciones en la bolsa de energía. También se incluye la antigüedad en meses desde el registro del agente comercializador ante el ASIC.

De igual forma, es importante anotar que existe un identificador único de cada agente comercializador, representado por el código ASIC brindado por el administrador del MEM, permitiendo así categorizar cada variable por agente.

Así, en la siguiente tabla, se referencian la totalidad de las variables extraídas en la elaboración de este trabajo. Cada una de ellas se describe en detalle en el **Anexo 1**, donde se explican sus definiciones y unidades de medición.

Tabla 1

Variables extraídas para el análisis de supervivencia de los agentes comercializadores del MEM

Categoría	Variable	Fuente
Financieras	Razón Corriente	Sistema Único de Información -SUI-. Portal SSPD
	Flujo de caja/ Servicio de la deuda	
	Margen Neto	

	Utilidad neta / Patrimonio	
	EBITDA / Ingresos operacionales	
	Variación EBITDA	
	EBITDA / Gastos financieros	
	Patrimonio / Activos	
	Pasivos corrientes / Pasivos	
	Deuda financiera / EBITDA	
Mercado de Energía Mayorista	Demanda nacional	Administrador del MEM
	Precio Promedio Ponderado de Bolsa Mensual	
	Precio Promedio Ponderado de Contratos Regulados (MC)	
	Energía comprada y vendida en contratos (kWh)	
	Energía comprada y vendida en Bolsa (kWh)	
	Compras y ventas en contratos (\$COP)	
	Compras y venta en la bolsa de energía (\$COP)	
	Ingresos netos en contratos	
	Ingresos netos en bolsa	
	Exposición en bolsa (kWh)	
	Porcentaje de exposición en bolsa (%)	
	Exposición en bolsa (\$COP)	
	Valor neto por pagar por Transacciones en Bolsa en el mes de análisis.	
	Número de incumplimientos en obligaciones de garantías y factura durante un mes.	
	Antigüedad en el mercado desde el registro ante XM.	
	CROM 1	
	CROM 2	

5.2 Metodología empírica

El estudio se realizó a través de un panel de datos que adopta un enfoque cuantitativo, con el propósito de analizar de la permanencia y el comportamiento acerca del pago de obligaciones de los agentes comercializadores de energía en Colombia. La unidad de análisis corresponde a cada agente identificado por su código único (AgenteID), y el periodo de observación abarca desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022.

Los comercializadores seleccionados corresponden a aquellos que en el MEM presenten exposición en la bolsa y contratos de compra/venta registrados para atender las obligaciones de la prestación del servicio público de energía a los usuarios finales o para

atender las obligaciones bilaterales de energía. Así, se construyó un panel de datos en donde cada registro representa el tiempo transcurrido hasta la ocurrencia de un evento de incumplimiento de pago por parte de un agente comercializador, en el que el tiempo mínimo incumplimiento corresponde a dos (2) días, bajo el argumento de que incumplimientos de un (1) día hábil puede obedecer a errores operativos en los pagos o un simple descuido por parte del agente. De esta manera, dado que un mismo agente puede incurrir en múltiples incumplimientos a lo largo del periodo de estudio, es posible que aparezca en varios registros, cada uno correspondiente a una nueva ocurrencia de un incumplimiento. Para el periodo final del estudio, todos los comercializadores que no presentaron eventos de incumplimiento fueron registrados como observaciones censuradas.

Inicialmente se realizaron las estadísticas descriptivas correspondientes a la muestra del estudio, se analizaron los datos históricos de los incumplimientos en las obligaciones de los agentes comercializadores que iniciaron Procedimientos de Limitación de Suministro y la recurrencia de los procedimientos de cada agente, asimismo se estimó la curva de Kaplan Meier como parte fundamental del análisis de sobrevivencia con intervalos de tiempo medidos entre eventos.

Posteriormente se realizó la aplicación y estimación del Modelo de Cox con la formulación propuesta por Andersen y Gill (AG), la cual es adecuada para el tratamiento de eventos recurrentes ante la caracterización del Mercado de Energía Mayorista, en este caso cada observación es modelada de forma independiente, en la cual cada registro refleja los niveles financieros y de exposición en el mercado. Sin embargo, el modelo asume una independencia condicional entre los eventos de un mismo agente a lo largo del tiempo, lo cual debe ser evaluado ante la posibilidad de existencia de heterogeneidad no observada.

Así, ante el supuesto de riesgos proporcionales en el tiempo que implica que los efectos de las covariables son constantes en el tiempo, se evaluó la validez de este por medio

de la prueba de residuos de Schoenfeld, ante el cual se implementó un segundo modelo estadístico para el tratamiento de covariables dependientes en el tiempo, a su vez, se utilizaron los residuos de Martingala y Devianza como medida de evaluación de ajuste y de especificación del modelo.

Por último, el tercer modelo estadístico aplicado, correspondió al Modelo de Cox con Fragilidad (Frailty), para comparar los resultados obtenidos bajo este parámetro estadístico y así permitir modelar la heterogeneidad no observada existente entre agentes, lo anterior bajo la caracterización de los agentes y la diferenciación en las variables financieras y de mercado existentes.

En conclusión, la aplicación de los tres modelos previamente descritos fue realizada en el software R Studio, utilizando los paquetes survival, frailtypack y survminer. Para cada modelo se estimaron los coeficientes asociados a cada covariable incluida en el modelo, estimando la significancia estadística y las tasas de riesgo. Asimismo, se compararon modelos realizando análisis sobre los residuales, validando el cumplimiento del supuesto de proporcionalidad de riesgos, utilizando criterios de información como AIC, BIC, entre otras pruebas de bondad de ajuste para poder contar con criterios estadísticos de decisión y selección de modelos.

6. Resultados

6.1. Estadísticas descriptivas

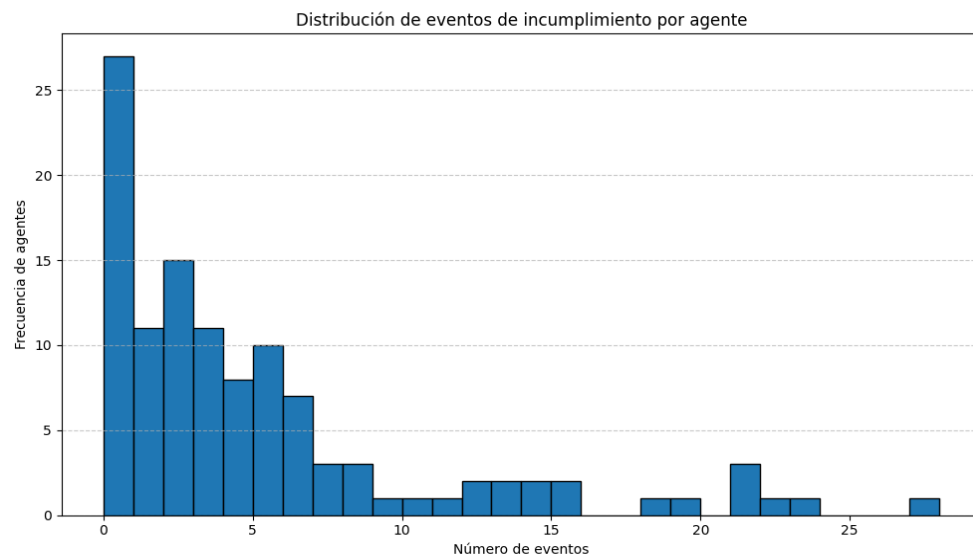
El conjunto de datos está compuesto por 5,578 observaciones correspondientes a 90 agentes comercializadores de energía. Se registraron un total de 553 eventos de incumplimiento en las obligaciones de pago de los agentes, con un promedio de 6.14 eventos por agente. El período de observación abarca desde el periodo 0 hasta el 60, equivalente a los meses comprendidos entre enero de 2018 y diciembre de 2022, lo que permite analizar la dinámica temporal de los eventos recurrentes en el sector.

Se realizó un análisis de la distribución de eventos de incumplimientos registrados por cada agente comercializador de energía. Para ello, se calculó el número total de eventos por agente (CodigoASIC) a partir de la variable binaria Evento, donde un valor de 1 indica la ocurrencia de un incumplimiento. El número de eventos por agente varió entre 0 y 27, el 25% de los agentes registraron solo un evento, mientras que el 75% tuvo hasta seis eventos. Estos resultados evidencian una alta heterogeneidad en los incumplimientos de las obligaciones de pagos entre agentes.

Para visualizar esta distribución, la gráfica 2 muestra la frecuencia de agentes según el número de eventos registrados. La mayoría de los agentes se concentran en rangos bajos de recurrencia (entre 1 y 6 eventos), mientras que unos pocos presentan una alta frecuencia de renegociaciones, lo cual podría estar asociado a características particulares de su operación o estructura financiera. Sin embargo, se observa algunos agentes que presentan una alta cantidad de eventos (hasta 27), lo cual sugiere comportamientos atípicos o una mayor exposición a condiciones que impactan en el cumplimiento de las obligaciones. Estos casos podrían estar relacionados con características particulares de los contratos, la estructura financiera del agente, o su rol en el mercado. La presencia de agentes con 0 eventos también es relevante, ya que representa casos censurados en el análisis de sobrevivencia. Estos agentes no han registrado incumplimientos durante el periodo de observación, lo que puede deberse a contratos más estables, menor actividad comercial, o simplemente un manejo adecuado en las finanzas y las transacciones en el mercado.

Gráfica 2.

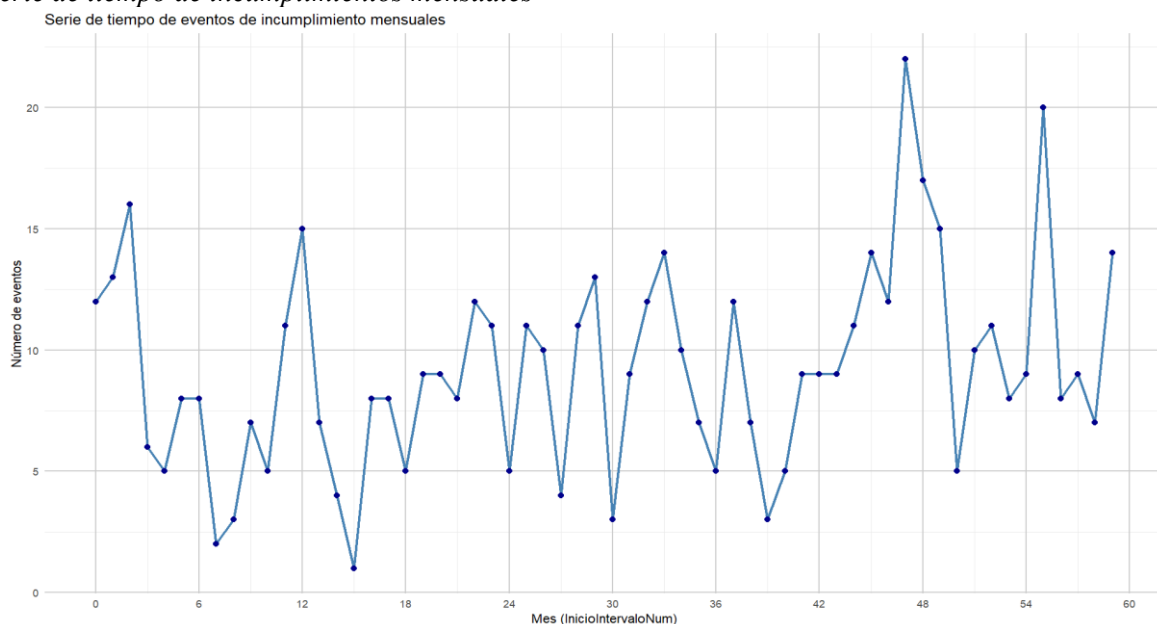
Total de incumplimientos por agentes entre 2018 y 2022



La gráfica 3, presenta la distribución de eventos de incumplimientos presentados mes a mes para la muestra de agentes comercializadores en los cuales es posible identificar una variabilidad significativa en esta frecuencia mensual, con algunos periodos pronunciados lo que podría estar asociado a aspectos coyunturales, especialmente en los periodos con volatilidades en los precios de bolsa, cambios regulatorios, la pandemia del Covid-19 y la posible afectación financiera que estos factores pudieron representar

Gráfica 3

Serie de tiempo de incumplimientos mensuales

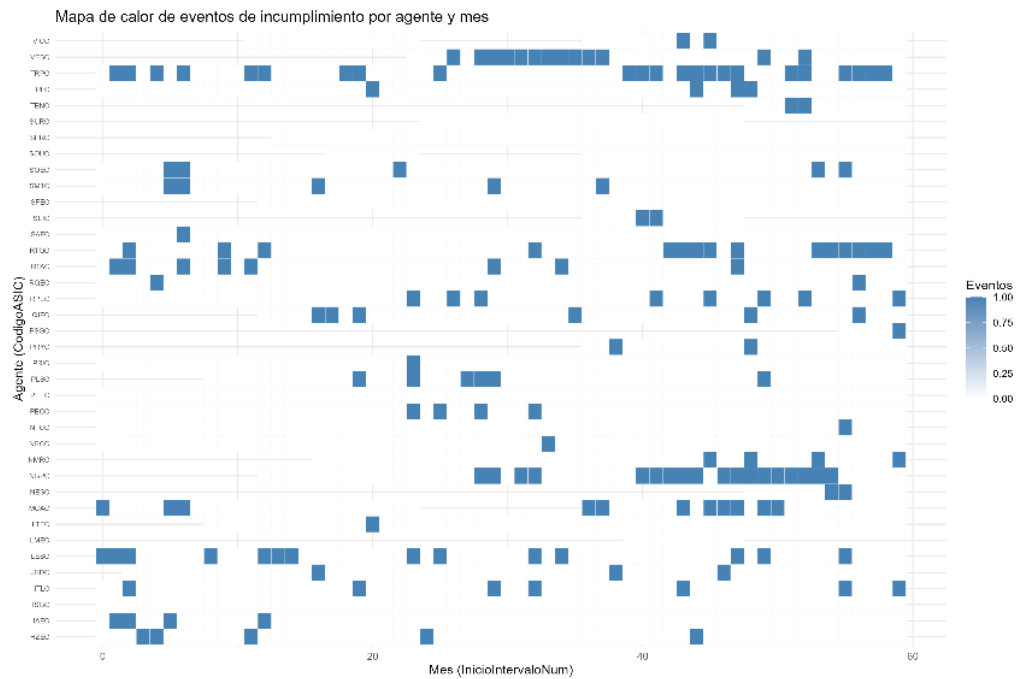


fundamentales que lo componen y los posibles ciclos de riesgo existentes en algunos periodos.

Gráfica 5

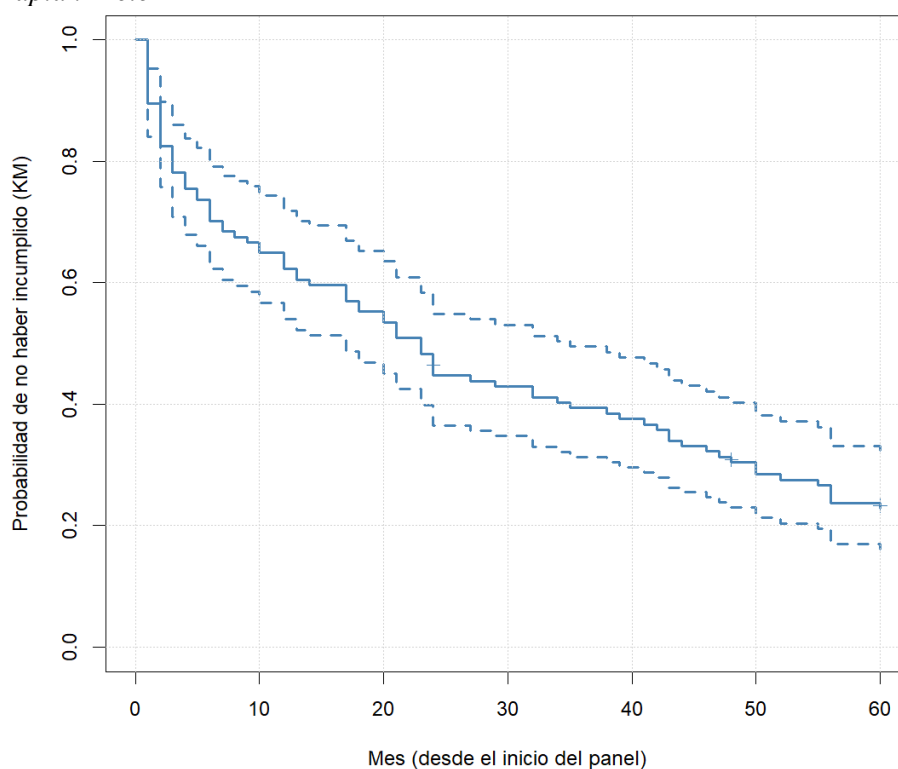
Incumplimientos por agente comercializador





La gráfica 6 corresponde a la Curva de Kaplan-Meier, la cual incluye Gepp en su estudio para determinar el rol del análisis de sobrevivencia en el análisis para la predicción de situación de estrés financiero. Se incluye la Curva de Kaplan-Meier como una de las técnicas más populares para estimar la función de sobrevivencia y la tasa de riesgo a partir de los periodos observados en el estudio (Gepp, 2015). Así, con base esta gráfica se permite observar la disminución progresiva en la probabilidad de que un comercializador no haya incurrido en un primer incumplimiento en sus obligaciones financieras de pago, observando que, al finalizar el periodo analizado, la probabilidad de no haber incumplido es menor al 20%, reflejando una visión general del mercado y la necesidad de establecer metodologías de vigilancia y control para mitigar los riesgos financieros existentes.

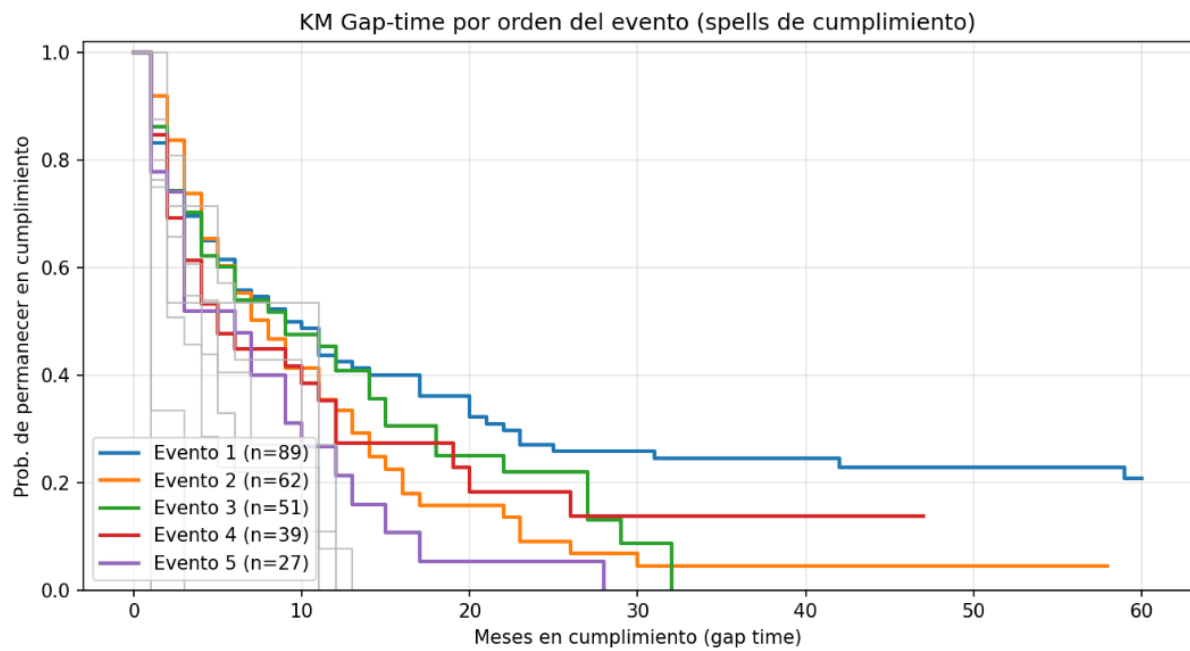
Gráfica 6
Curva de Kaplan-Meier



Sin embargo, dada la dinámica del mercado de energía colombiano, se exhiben comportamientos recurrentes en los incumplimientos de los agentes comercializadores. Por esto, la gráfica 7 corresponde a la curva de supervivencia bajo el estimador de Kaplan Meier, en la cual se estratifica por el número del incumplimiento presentado bajo una escala de gap-time, mostrando el tiempo transcurrido entre incumplimientos para cada uno de los agentes, así, los agentes con mayor número de incumplimientos, exhiben una mayor probabilidad de reincidencia en el tiempo o una dinámica temporal del riesgo ante disminuciones o afectaciones en la operatividad y finanzas de los comercializadores, de esta manera es importante acudir a los modelos de eventos recurrentes como el de Andersen-Gill (AG) y el Modelo de Fragilidad ante la heterogeneidad presentada entre los agentes (González & Peña, 2004).

Gráfica 7

Curvas de supervivencia por número de incumplimientos



Por otro lado, las estadísticas descriptivas para todas las variables analizadas son presentadas en la Tabla 2 . La primera parte de estas corresponde a las razones financieras incluidas en este estudio y la segunda parte corresponde a las variables del Mercado de Energía Mayorista aplicadas a este mismo. A partir de estas variables, serán aplicados los modelos expuestos en la metodología.

Tabla 2

Estadísticas descriptivas (valores en millones, excepto indicadores financieros, PLS Mensual y Antigüedad MEM)

Variable	Min	Q1	Mediana	Media	Q3	Max
RazonCorriente	0.00	1.02	1.33	1.79	2.03	9.51
FlujoCaja/Servdeuda	-25.98	-0.48	1.37	3.49	5.89	49.21
MargenNeto	-0.70	0.01	0.04	0.07	0.12	0.46
Utilidadneta/Patrimonio	-0.85	0.02	0.10	0.14	0.21	1.23
EBITDA/Ingresosoperacionales	-0.68	0.03	0.09	0.13	0.21	0.78
VariacionEBITDA	-25.99	-0.32	0.07	0.79	0.77	38.11
EBITDA/Gastosfinancieros	-42.37	1.46	4.95	6.68	10.00	46.73
Patrimonio/Activos	0.00	0.24	0.43	0.42	0.57	0.84
Pasivoscorrientes/Pasivos	0.00	0.29	0.53	0.49	0.71	0.89
Deudafinanciera/EBITDA	-5.37	0.00	0.00	0.73	0.63	14.44
DDA_NAL	0.00	0.00	0.86	54.36	21.75	1,423.00
COMPRAS_CTOS	0.00	0.00	6.00	54.58	36.45	1,147.00
VENTAS_CTOS	0.00	0.00	0.00	6.59	4.76	241.60
CBOLSA_NAL	0.00	0.00	0.01	7.61	2.22	602.86
VBOLSA_NAL	0.00	0.00	0.00	1.24	0.30	112.31
COMPRAS_BOLSA_COP	0.00	0.00	0.95	1,586.00	400.60	257,400.00
VENTAS_BOLSA_COP	0.00	0.00	0.00	212.90	47.38	26,430.00
EXPOSICIONBOLSA	-112.31	0.00	0.00	6.37	1.62	602.86
PCOMPRA_BOLSA	0.00	0.00	91.31	107.73	181.24	657.67
PVENTA_BOLSA	0.00	0.00	0.00	84.96	146.85	658.44
RESULTADOTBO_COP	0.00	0.00	33.59	1,712.00	549.40	257,400.00
PTRANSACCION	0.00	0.11	0.17	1.42	0.29	5,808.78
PBON	74.08	109.80	168.45	196.59	287.46	434.43
PCONTRATOS	187.40	203.20	220.50	232.40	258.00	294.30
EXPBOLSA(%)	-109,547.58	0.00	0.00	-22.89	0.10	95.04
EXPBOLSA(\$COP)	-26,430.00	0.00	0.00	1,373.00	301.00	257,400.00
DDA_EXPUESTA_BOLSA_COP	-26,920.00	0.00	0.00	1,338.00	278.60	258,000.00
Fvcto_factura	0.00	2.18	76.95	2,762.00	1,037.00	245,800.00
PLS_Mensual	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	16.00
AntigüedadMEM	0.00	155.80	472.10	664.60	721.30	3,741.30
Patrimonio	-90,740.00	0.00	0.00	317,400.00	3,099.00	129,600,000.00
CROM1	-44,360.00	0.00	0.66	630.00	24.63	101,300.00
CROM2	-294.30	0.00	7.50	1,787.00	105.60	460,700.00

6.2. Resultados principales

La tabla 3 presenta los resultados de los modelos de sobrevivencia aplicados a las empresas comercializadoras de energía. Cada aplicación tiene como objetivo analizar la duración hasta el evento de interés del presente estudio, los cuales se fundamentan bajo diferentes supuestos estructurales y de heterogeneidad no observada. Los modelos aplicados fueron:

- Modelo de Cox de Andersen-Gill (AG).
- Modelo de Cox de Andersen-Gill (AG) con la corrección de la violación del supuesto de riesgos proporcionales en el tiempo.
- Modelo de Cox con Fragilidad (Frailty)

Tabla 3

Resultados modelos de riesgos: Cox (Andersen–Gill, corrección en t y fragilidad)

Variables	Modelo Cox Andersen–Gill			Modelo Cox Andersen–Gill corregido proporcionalidad riesgos en t			Modelo Cox con Fragilidad		
	Coeeficiente (desv. est.)	Tasa Hazar	Valor p	Coeeficiente (desv. est.)	Tasa Hazar	Valor p	Coeeficiente (desv. est.)	Tasa Hazar	Valor p
Razón corriente	-0,080 (0,087)	0,923	0,354	-0,001 (0,002)	0,999	0,502	-0,040 (0,071)	0,961	0,600
Flujo de caja / Servicio de la deuda	-0,029 (0,054)	0,972	0,596	-0,026 (0,060)	0,974	0,667	-0,027 (0,058)	0,973	0,640
Margen Neto	-0,181 (0,058)*	0,834	0,002	-0,003 (0,006)	0,997	0,568	-0,089 (0,074)	0,914	0,260
Utilidad neta / Patrimonio	-0,066 (0,069)	0,936	0,340	-0,105 (0,076)	0,900	0,165	-0,042 (0,059)	0,959	0,510
EBITDA / Ingresos operacionales	-0,023 (0,106)	0,977	0,827	-0,002 (0,002)	0,998	0,301	-0,020 (0,078)	0,980	0,820
Variación EBITDA	0,121 (0,045)*	1,128	0,007	0,131 (0,048)*	1,140	0,006	0,137 (0,047)*	1,147	0,007

EBITDA /	0,050	1,051	0,39	-0,002	0,998	0,24	0,014	1,015	0,82
Gastos financieros	(0,058)		0	(0,002)		6	(0,057)		0
Patrimonio /	-0,091	0,913	0,42	-0,117	0,890	0,30	-0,160	0,852	0,05
Activos	(0,115)		6	(0,115)		7	(0,069)		2
Pasivos corrientes /	0,053	1,055	0,46	0,004	1,004	0,04	0,073	1,075	0,28
Pasivos	(0,073)		4	(0,002)*		1	(0,061)		0
Deuda financiera /	0,014	1,014	0,81	0,002	1,002	0,96	-0,023	0,977	0,64
EBITDA	(0,057)		2	(0,061)		8	(0,048)		0
Comercializa	0,172	1,188	0,42	0,024	1,024	0,52	0,222	1,248	0,39
dor incumbente	(0,216)		5	(0,038)		9	(0,115)		0
Representa	0,832	2,298	5,27	0,369	1,446	4,25	0,549	1,732	0,00
demanda	(0,206)*		e-05	(0,090)*		e-05	(0,165)*		9
	**			**			*		
Transa en	-0,115	0,891	0,53	-0,091	0,913	0,64	0,064	1,066	0,72
bolsa	(0,187)		6	(0,195)		2	(0,154)		0
%	0,561	1,752	0,02	0,589	1,802	0,03	1,905	6,718	0,43
Exposición en bolsa	(0,249)*		4	(0,280)*		5	(2,405)		0
\$COP	-0,269	0,764	0,42	-0,017	0,983	0,05	0,030	1,031	0,89
Expuestos en bolsa	(0,337)		6	(0,009)		6	(0,206)		0
Vencimiento	-0,217	0,805	0,43	0,008	1,008	0,28	-0,144	0,866	0,50
factura	(0,277)		4	(0,007)		7	(0,201)		0
Conteo de	0,465	1,592	2,00	0,462	1,587	2,00	0,472	1,603	1,50
procedimientos mensuales	(0,029)*		e-16	(0,029)*		e-16	(0,019)*		e-
	**			**			**		126
CROM 1	-0,135	0,874	0,14	-0,120	0,887	0,20	-0,046	0,955	0,72
	(0,092)		1	(0,094)		1	(0,128)		0
CROM 2	-0,133	0,875	0,81	-0,598	0,550	0,35	-0,222	0,801	0,48
	(0,554)		0	(0,651)		8	(0,264)		0

Nota: HR = exp(coef). Coeficiente reporta (desv. est.). Estrellas de significancia: *** p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; · p<0,10. En el Modelo 2, las entradas tt() representan efectos dependientes del tiempo; se muestran en la fila de su variable base. En el Modelo 3, se usa se2 como desviación estándar (fragilidad por Código ASIC significativa).

Para interpretar los resultados obtenidos en los modelos de Cox aplicados y determinar cuáles son los factores financieros y de mercado sobre la sobrevivencia empresarial, se establecieron valores teóricos sobre el signo de los coeficientes para cada una de las variables incluidas en el estudio. Estos valores se fundamentan en estudios previos

sobre supervivencia empresarial, análisis financiero y análisis del sector energético colombiano, como los desarrollados por Arango Castillo, M. J. & Botero Baena, A. (2024), Fernández Castaño, H. et al. (Universidad de Medellín) y Jaramillo, J., Medina, S. & Manco, O. (2007). Así, la Tabla 4 presenta los coeficientes teóricos y esperados para cada variable medida, donde:

- Respecto a las variables financieras, se espera que aquellas que reflejan solidez y eficiencia operativa presenten coeficientes negativos, indicando una menor probabilidad de salida del mercado. Por ejemplo, una mayor razón corriente sugiere una buena capacidad de liquidez, lo que debería reducir el riesgo de quiebra. De igual forma, un flujo de caja suficiente para cubrir el servicio de la deuda se asocia con estabilidad financiera, por lo que se anticipa un efecto protector. Variables como el margen neto, la utilidad neta sobre el patrimonio, el EBITDA sobre ingresos operacionales y el EBITDA sobre gastos financieros también se proyectan con coeficientes negativos, al reflejar rentabilidad y eficiencia en la gestión. En contraste, se espera que la variación del EBITDA tenga un coeficiente positivo, dado que una alta volatilidad en el desempeño operativo puede indicar inestabilidad. Asimismo, indicadores de apalancamiento como la deuda financiera sobre EBITDA y la proporción de pasivos corrientes sobre el total de pasivos podrían presentar coeficientes positivos, al reflejar presión financiera y riesgo de insolvencia.
- Respecto a las variables del sector energético, se anticipa que aquellas relacionadas con exposición al mercado mayorista y vulnerabilidad regulatoria presenten coeficientes positivos. Por ejemplo, se espera que los agentes comercializadores que representan demanda, transan en bolsa o tienen una alta exposición porcentual o monetaria al mercado mayorista enfrenten mayores riesgos, reflejados en coeficientes positivos. El valor asociado al vencimiento mensual de la factura por concepto de las

Transacciones en Bolsa de energía puede representar presiones financieras para los agentes del mercado, por lo que se espera un coeficiente positivo. Por otro lado, se proyecta que las empresas incumbentes, por su trayectoria y consolidación en el mercado, presenten coeficientes negativos. El conteo de procedimientos de limitación de suministro o incumplimientos financieros podrían asociarse con conflictos administrativos o condiciones financieras desfavorables, por lo que se espera un efecto positivo sobre el riesgo. Finalmente, la Capacidad de Respaldo para las Operaciones del Mercado representadas por la CROM 1 y CROM 2 podrían asociarse con buenas dinámicas de contratación o cobertura de los agentes para respaldar sus operaciones de compra y venta de energía, por lo que se espera un efecto negativo sobre el riesgo.

Tabla 4
Coeficientes esperados para el análisis cuantitativo

Variable	Coeficiente Esperado	Justificación
Razón corriente	Negativo	Mayor liquidez reduce el riesgo de incumplimientos
Flujo de caja / Servicio de la deuda	Negativo	Mejores flujos para cubrir deuda indican estabilidad.
Margen Neto	Negativo	Rentabilidad alta reduce el riesgo de incumplimiento y posible quiebra.
Utilidad neta / Patrimonio	Negativo	Mayor rentabilidad sobre capital propio es saludable.
EBITDA / Ingresos operacionales	Negativo	Alta eficiencia operativa reduce el riesgo.
Variación EBITDA	Positivo	Volatilidad financiera puede aumentar el riesgo.
EBITDA / Gastos financieros	Negativo	Mayor cobertura de intereses indica menor vulnerabilidad.
Patrimonio / Activos	Negativo	Mayor solvencia reduce el riesgo de salida.
Pasivos corrientes / Pasivos	Positivo	Alta proporción de pasivos a corto plazo puede indicar presión financiera.
Deuda financiera / EBITDA	Positivo	Alto apalancamiento puede aumentar el riesgo de insolvencia.

Comercializador incumbente	Negativo	Empresas establecidas suelen tener menor riesgo de incumplimiento financiero.
Representa demanda	Positivo	Mayor exposición a impagos y presión regulatoria.
Transa en bolsa	Positivo	Exposición al mercado mayorista puede aumentar volatilidad.
% Exposición en bolsa	Positivo	Alta exposición puede generar riesgo por precios spot.
\$COP Expuestos en bolsa	Positivo	Similar al anterior, pero en términos absolutos.
Vencimiento factura	Positivo	Aumentos en los valores facturados por Transacciones en Bolsa aumenta la presión financiera de impagos
Conteo de procedimientos mensuales	Positivo	Alta frecuencia de trámites puede reflejar conflictos o inestabilidad.
CROM 1 y CROM 2	Negativo	Mejores capacidades de respaldos para las transacciones, reduce el riesgo financiero.

En primer lugar, los resultados de la aplicación del modelo de Cox de Andersen Gill (AG) muestran que las variables financieras que presentan efecto significativo sobre la sobrevivencia de los agentes comercializadores son, el margen neto y la variación del EBITDA con un nivel de significancia ($p < 0,01$). La tasa de riesgo para el margen neto indica que ante incrementos en 1% en esta variable, la tasa de riesgo de incumplimiento se reduce en un 16.6% ceteris paribus, representando que ante mayores niveles de rentabilidad operativa, la empresa puede tener mayores niveles de ganancias e ingresos operacionales, dando señales adecuadas asociadas a la solvencia con mayor capacidad de cumplimiento en sus obligaciones.

Por otro lado, la variación del EBITDA indica que ante incrementos en 1% de esta variable, la tasa de riesgo de incumplimiento se incrementa en 12.8% ceteris paribus, mostrando que, ante volatilidades o fluctuaciones en el desempeño operativo, en la estructura de ingresos y/o costos, se pueden materializar aumentos en la exposición financiera conllevando a distintos niveles de incertidumbre que aumentan la probabilidad de presentar incumplimientos en sus obligaciones.

En relación con las variables del Mercado de Energía Mayorista, se observa que el porcentaje de exposición en bolsa ($p<0.05$), el número de procedimientos de limitación de suministro mensuales iniciados y la representación de usuarios finales ($p<0.001$) son estadísticamente significativos.

De esta manera se observa que, si el agente comercializador presta el servicio de energía eléctrica, la tasa de riesgo de incumplimiento aumenta en 129% *ceteris paribus*; si el agente tiene incrementos de 1% en sus niveles de exposición en bolsa, el nivel de incumplimiento aumenta en 75.2% *ceteris paribus*, y si el agente presenta el inicio de un procedimiento de limitación de suministro adicional, la tasa de riesgo de incumplimiento aumenta en un 59% *ceteris paribus*. Los anteriores resultados sugieren que empresas con mayores niveles de compromisos financieros en la bolsa de energía y los prestadores del servicio de energía eléctrica a usuarios finales tienen probabilidades más altas de incumplir sus obligaciones de pago, asumiendo mayores presiones contractuales y sensibilidad ante los precios del mercado y las condiciones de demanda de energía.

Ahora bien, la violación del supuesto de proporcionalidad de riesgos implica que el efecto de ciertas covariables sobre el riesgo no permanece constante en el tiempo. Esto puede generar sesgos en las estimaciones, afectar la interpretación de las tasas de riesgo o dificultar la convergencia del modelo (Ver tabla 5).

Tabla 5
Validación del supuesto de riesgos proporcionales (Schoenfeld)

Variables	Cox Andersen–Gill (sin tt)			Cox con Fragilidad		
	Chi-cuadrado	p-valor	Violación PH	Chi-cuadrado	p-valor	Violación PH
Razón corriente	13,624	2,20e-4	Sí	2,818	0,0761	Cercano
Flujo de caja / Servicio de la deuda	0,148	0,7000	No	0,022	0,8641	No
Margen Neto	10,656	0,0011	Sí	4,114	0,0347	Sí
Utilidad neta / Patrimonio	1,338	0,2474	No	0,137	0,6523	No
EBITDA / Ingresos operacionales	8,124	0,0044	Sí	2,906	0,0704	Cercano

Variación EBITDA	3,355	0,0670	Cercano	0,491	0,4262	No
EBITDA / Gastos financieros	6,598	0,0102	Sí	2,812	0,0753	Cercano
Patrimonio / Activos	0,240	0,6240	No	0,125	0,5880	No
Pasivos corrientes / Pasivos	6,976	0,0083	Sí	4,019	0,0336	Sí
Deuda financiera / EBITDA	1,955	0,1621	No	1,867	0,1579	No
Comercializador incumbente	3,584	0,0583	Cercano	4,992	0,0030	Sí
Representa demanda	15,593	7,90e-5	Sí	9,697	8,00e-4	Sí
Transa en bolsa	0,741	0,3894	No	0,344	0,4546	No
% Exposición en bolsa	0,075	0,7842	No	0,690	0,4022	No
\$COP Expuestos en bolsa	4,481	0,0343	Sí	0,277	0,5734	No
Vencimiento factura	10,485	0,0012	Sí	1,562	0,1847	No
Conteo de procedimientos mensuales	1,410	0,2350	No	0,019	0,8680	No
CROM 1	1,470	0,2253	No	0,790	0,3729	No
CROM 2	0,111	0,7385	No	0,172	0,5468	No
Global	76,275	8,10e-9	Sí	34,110	1,0000	No

Nota: Columnas muestran Chi-cuadrado y p-valor de la prueba basada en residuales de Schoenfeld. Criterio: Sí ($p < 0,05$), Cercano ($0,05 \leq p < 0,10$), No ($p \geq 0,10$).

Una estrategia para evidenciar el impacto de esta violación consiste en comparar los resultados del modelo Cox sin ajuste, que asume proporcionalidad estricta, frente a un modelo ajustado que incorpora términos dependientes del tiempo para las covariables que no cumplen el supuesto. Esta comparación permite determinar si el ajuste modifica sustancialmente las estimaciones y la calidad global del modelo.

Para este caso, la comparación entre el modelo Andersen–Gill y el modelo Andersen–Gill con corrección muestra las siguientes diferencias relevantes:

- **Supuesto proporcionalidad de riesgos:** Se presentaron múltiples violaciones significativas ($p < 0,05$ en varias covariables y prueba global del modelo), mientras que el modelo corrige esta dependencia temporal, relajando el supuesto de proporcionalidad.

- **Bondad de ajuste:** Ambos modelos son altamente significativos (ver Tabla 5, Lihelihood Ratio Test - LRT $p < 2e-16$), pero el modelo con corrección presenta un AIC ligeramente mayor (4078 vs. 4067) y un BIC mayor (4160 vs. 4149), lo que indica una penalización por complejidad adicional. Sin embargo, estas diferencias son pequeñas frente a la mejora conceptual en la validez del supuesto.
- **Concordancia:** El índice de concordancia se mantiene elevado en ambos casos (0,927 vs. 0,930), lo que indica que la capacidad predictiva de los modelos no se ve comprometida por el ajuste.
- **Pruebas Score y Wald:** Se observa una reducción en los valores de Wald y Score en el modelo con la corrección, reflejando un cambio en la estructura del riesgo en las variables al aplicar la corrección de la no proporcionalidad.

Según lo anterior se puede decir que, aunque el ajuste por términos dependientes del tiempo no mejora sustancialmente las métricas globales de ajuste (AIC/BIC), sí garantiza que las estimaciones sean coherentes con la dinámica temporal del riesgo, evitando conclusiones erróneas sobre la significancia y magnitud de los efectos. En el contexto de este estudio, esta corrección es crítica para la robustez del análisis, por tanto, evaluar y corregir este supuesto es esencial para garantizar la validez del análisis.

En segundo lugar, los resultados del Modelo de Cox de Andersen-Gill (AG) con la corrección de la violación del supuesto de riesgos proporcionales en el tiempo, muestran también que solo las variables financieras variación del EDITDA y la razón Pasivos Corrientes / Pasivos tienen efectos significativos sobre la sobrevivencia de los agentes comercializadores, e incluso cambia la significancia de unas variables y de las tasas de riesgo. Para este caso, la variación del EBITDA y la relación pasivos corrientes sobre pasivos totales son estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

La razón Pasivos Corrientes / Pasivos, indica de una forma marginal que en un momento dado y considerando que el agente no ha experimentado el evento hasta ese instante, ante aumentos en 1% de esta, la propensión o intensidad del riesgo de incumplimiento aumenta en 0.4% ceteris paribus, reflejando que un inadecuado manejo en las obligaciones de corto plazo, pueden llegar a ser perjudiciales para el cumplimiento de las obligaciones financieras en el mercado de energía.

La variación EBITDA indica que ante incrementos en 1% de esta variable la propensión o intensidad del riesgo de incumplimiento se incrementa en 14% ceteris paribus, mostrando que en este modelo el desempeño operativo sigue siendo un factor relevante al momento de analizar la sobrevivencia de los agentes comercializadores.

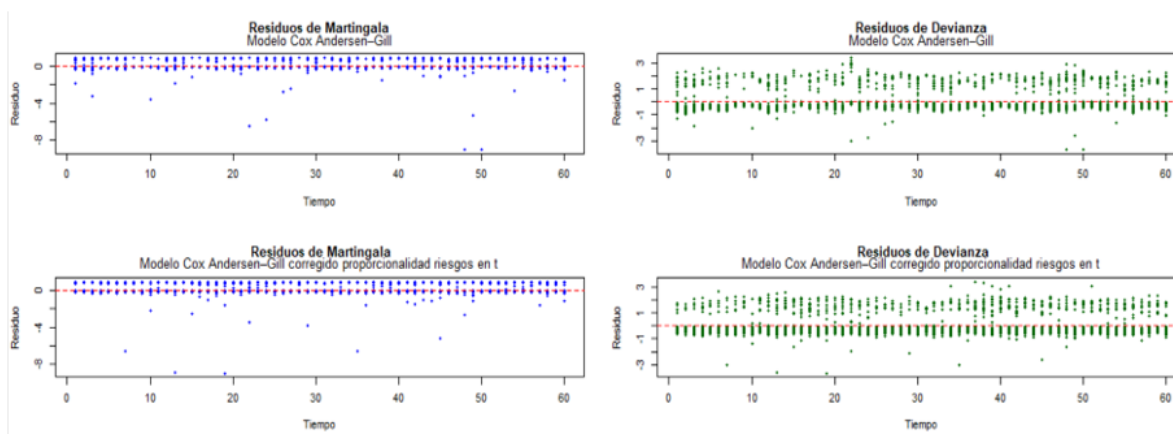
En relación con las variables del Mercado de Energía Mayorista, se observa que el porcentaje de exposición en bolsa y la valoración monetaria de la demanda expuesta en la bolsa de energía ($p < 0.05$), el número de procedimientos de limitación de suministro mensuales iniciados y la representación de usuarios finales ($p < 0.001$) son estadísticamente significativos. De esta manera se observa que, si el agente comercializador presta el servicio de energía eléctrica, la propensión o intensidad del riesgo de incumplimiento aumenta en 44% ceteris paribus, si el agente tiene incrementos de 1% en sus niveles de exposición en bolsa, la propensión o intensidad del riesgo de incumplimiento aumenta en 80% ceteris paribus y si el agente presenta el inicio de un procedimiento de limitación de suministro adicional, la propensión o intensidad del riesgo de incumplimiento aumenta en un 59% ceteris paribus.

Los resultados muestran que el efecto de las variables financieras sobre el riesgo de impago por parte de los agentes no se mantienen de manera proporcional a lo largo del periodo analizado. En contraste, las variables de mercado ejercen un impacto consistente y

persistente, lo que las convierte en factores clave para la supervivencia y el cumplimiento de las obligaciones financieras de los agentes comercializadores.

Ahora, al evaluar el ajuste y la correcta especificación del modelo por medio del análisis de los residuos de Martingala y Devianza entre el modelo Cox sin corrección por términos dependientes del tiempo y el modelo ajustado, se observan diferencias relevantes en el comportamiento de los residuos. En la Gráfica 8 se observa que en el modelo AG los residuos de Martingala y Devianza es posible identificar la presencia de valores atípicos, presumiendo la presencia de desajuste en algunos individuos y/o intervalos temporales en el primer caso, y afirmando el incumplimiento de la proporcionalidad de riesgos o variación temporal de los efectos de las covariables en el segundo caso. Para el modelo corregido, se reduce la presencia de valores extremos negativos y de la variabilidad de los residuos, lo que indica una mejora en el ajuste y una mejoría en la dependencia temporal incorporada por medio de la corrección.

Gráfica 8
Análisis de residuos Modelo AG y Modelo Corregido



Al revisar la tabla 6, se observan las correlaciones entre los residuos de Martingala y Devianza y cada una de las covariables consideradas. En términos generales, las correlaciones son bajas en ambos modelos, con excepción del conteo de procedimientos mensuales, donde se encuentran correlaciones de 0,448 y 0,690 para ambos residuos en el modelo Cox sin ajuste; estos valores disminuyen significativamente en el modelo Cox con corrección de

proporcionalidad. Así, la corrección temporal mejora la validez teórica del modelo y la calidad del ajuste, sin embargo, ambos modelos muestran cierta dispersión en los residuos y algunos valores extremos, lo que indica la posible necesidad de considerar un modelo más robusto que sea capaz de ajustar estas características en los datos observados.

Tabla 6
Correlación entre residuales y covariables

Variables	Modelo Cox Andersen–Gill		Modelo Cox Andersen–Gill corregido proporcionalidad riesgos en t		Modelo Cox con Fragilidad	
Variables	Martingala	Devianza	Martingala	Devianza	Martingala	Devianza
Razón corriente	-0,031	-0,031	0,045	-0,004	-0,068	0,027
Flujo de caja / Servicio de la deuda	0,015	-0,056	-0,034	-0,065	0,020	-0,127
Margen Neto	0,025	0,014	0,114	0,060	0,095	0,068
Utilidad neta / Patrimonio	-0,037	-0,071	0,130	0,114	-0,063	-0,125
EBITDA / Ingresos operacionales	-0,029	-0,056	0,069	0,050	-0,100	-0,094
Variación EBITDA	0,009	-0,057	0,123	0,037	0,044	-0,095
EBITDA / Gastos financieros	-0,021	-0,085	0,056	0,002	-0,113	-0,125
Patrimonio / Activos	-0,023	-0,014	-0,021	-0,104	-0,009	0,071
Pasivos corrientes / Pasivos	-0,061	-0,073	0,142	0,111	-0,119	-0,082
Deuda financiera / EBITDA	0,016	0,014	0,091	0,074	-0,070	-0,031
% Exposición en bolsa	0,054	0,072	0,088	0,092	0,035	0,016
\$COP Expuestos en bolsa	-0,020	0,063	0,003	0,106	-0,051	-0,011
Vencimiento factura	-0,027	0,050	0,021	0,103	-0,064	-0,033
Conteo de procedimientos mensuales	0,448	0,690	-0,014	-0,022	0,443	0,752
CROM 1	-0,004	0,062	-0,038	-0,027	-0,034	0,004
CROM 2	0,002	0,065	-0,051	-0,041	-0,033	0,003

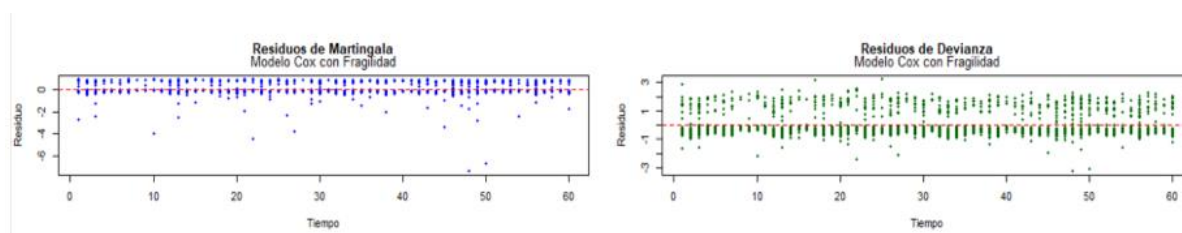
Notas: Correlaciones de Pearson. AG: Andersen–Gill; tt: corrección en t; Fragilidad: efecto aleatorio.

Por lo anterior, la inclusión del término de fragilidad en el modelo de Cox se justifica por la presencia de heterogeneidad no observada entre los grupos analizados, la cual no puede ser explicada únicamente por las covariables consideradas. Un argumento adicional a partir de los resultados obtenidos es que la representación de usuarios finales es significativa en el riesgo de incumplimiento de obligaciones, sugiriendo que la dinámica de pagos de los usuarios finales puede afectar al cumplimiento de los agentes; esta información no está considerada en las variables utilizadas en el modelo. Otro argumento, desde las estadísticas obtenidas, se presenta en la Tabla 7 donde la varianza estimada del efecto aleatorio ($\hat{\theta} = 0,677$) y la prueba de razón de verosimilitudes (LRT) para $H_0: \theta = 0$ ($\chi^2 = 211,37$; $p = 2,5e-15$) confirman que la fragilidad contribuye significativamente al ajuste del modelo. Además, el incremento en la concordancia (0,946 frente a 0,930 en los modelos Cox) indica una mejora en la capacidad predictiva, y más influyente aún, se observa una reducción del AIC (3882 frente a más de 4000 en los modelos sin fragilidad) refleja un mejor equilibrio entre ajuste y complejidad.

Al analizar los residuos de Martingala y Devianza a través de la Gráfica 9 en el modelo con fragilidad, por un lado se tiene una reducción de valores extremos negativos, capturando de manera más efectiva la heterogeneidad no observada entre los grupos o individuos, mejorando el ajuste global y la independencia de los residuos respecto al tiempo; por otro lado no se observan patrones sistemáticos ni agrupamientos evidentes, lo que indica que la inclusión del término de fragilidad contribuye a mitigar la influencia de covariables no observadas y a estabilizar la estructura de los residuos

Gráfica 9

Análisis de residuos Modelo con Fragilidad



Ante la inclusión de la fragilidad en el modelo de Cox para capturar la heterogeneidad no observada, se tiene que pocas variables financieras tienen efectos significativos sobre la sobrevivencia de los agentes comercializadores, siendo la variación EBITDA y la razón entre el patrimonio y los activos las variables financieras estadísticamente significativas, y los procedimientos de limitación de suministro iniciados en un mes, así como la prestación del servicio público de energía eléctrica a usuarios finales son las variables del mercado significativas. Es de anotar que, el porcentaje de exposición en bolsa a pesar de no ser estadísticamente significativo presenta una tasa de riesgo alta, lo que indicaría que algunos agentes altamente expuestos en bolsa pueden enfrentar niveles de riesgo altos, reflejando una dispersión en el Mercado de Energía Mayorista. Así, al incorporar la heterogeneidad no observada para analizar las diferencias existentes entre los agentes del sector, es posible corroborar que son los agentes con mayor sensibilidad a los precios de bolsa y a la energía demandada, aquellos que pueden enfrentar problemas financieros al momento de dar cumplimiento a las obligaciones en el sector.

Además, el modelo con fragilidad es altamente significativo según la prueba LRT ($\chi^2 = 1250$; $p < 2e-16$) (ver Tabla 7), lo que refuerza la pertinencia de su aplicación, demostrando que la inclusión de un término de fragilidad resulta beneficiosa, dado que no solo captura la dependencia dentro de los agentes, sino que también proporciona mejores estimaciones, evitando sesgos derivados de la omisión de esta estructura aleatoria

Tabla 7

Comparativo de bondad de ajuste y calidad de modelos

Modelo	Concordancia (SE)	LRT χ^2 (df), p	Wald χ^2 (df), p	Score χ^2 (df), p	Score robusto χ^2, p	AIC	BIC	Var. fragilidad (θ)	LRT $\theta=0$ (χ^2, df, p)
Cox Andersen–Gill (sin tt)	0,927 (0,01)	925,8 (19), p=< 2e-16	764,1 (19), p=< 2e-16	4067,0 (19), p=< 2e-16	46,86, p=4e-04	4067,27	4149,218		
Cox Andersen–Gill (con tt)	0,930 (0,01)	914,3 (19), p=< 2e-16	659,7 (19), p=< 2e-16	4065,0 (19), p=< 2e-16	46,60, p=4e-04	4078,746	4160,738		
Cox con Fragilidad	0,946 (0,01)	1250,0 (88.83), p=< 2e-16				3882,181	4265,507	0,677	211,37, 73.23, p=2.5e-15

Nota: Concordancia = índice C de Harrell (discriminación). LRT/Wald/Score basados en verosimilitud parcial; AIC/BIC calculados con parcial log-likelihood. El LRT y el Score “clásico” presuponen independencia dentro de clúster; Wald y Score robusto no. En el modelo con fragilidad, se reporta la varianza del efecto aleatorio (θ) y el LRT de $H_0: \theta=0$. Celdas en blanco indican no aplica.

7. Conclusiones

Resultante de la aplicación de los modelos propuestos para evaluar la permanencia de los agentes comercializadores del mercado eléctrico colombiano, es posible obtener un Modelo de Cox con una adecuada especificación estadística debido a la inclusión del término de fragilidad ante la heterogeneidad existente entre los agentes. A raíz de este modelo, se concluye que los factores financieros y del mercado, resultan ser pertinentes para la caracterización de la sobrevivencia de los agentes comercializadores.

Ahora bien, la triangulación de los modelos de Cox muestra que algunos de los indicadores financieros propuestos por la ANDESCO e incluidos en el estudio *Metodología de Análisis del Riesgo financiero en el Mercado De Energía Mayorista Colombiano* no son estadísticamente significativos en estas aplicaciones, siendo la Variación del EBITDA los pasivos corrientes sobre los pasivos y la relación entre el EBITDA y los Activos aquellos

indicadores que permiten dar señales oportunas de riesgo, a su vez, los incumplimientos recurrentes, los niveles de exposición en bolsa y las obligaciones resultantes de la prestación del servicio de energía eléctrica a usuarios finales, complementan las variables que bajo estas metodologías determinan la permanencia y estabilidad financiera de los agentes comercializadores en el MEM colombiano.

Igualmente, si bien la corrección por términos dependientes del tiempo y la inclusión de fragilidad mejoran la especificación y el ajuste de los modelos de supervivencia, persisten ciertos valores extremos y patrones de dispersión en los residuos. La presencia de estos datos atípicos sugiere que aún existen fuentes de heterogeneidad o dinámicas no capturadas completamente por los modelos considerados, es por esto, que la calidad y oportunidad en la entrega de la información financiera de los agentes comercializadores a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios debe ser uno de los objetivos primordiales en la vigilancia y control para la mitigación de riesgos financieros, toda vez que a partir de esta información se podría obtener mayor precisión en las estimaciones de riesgo.

Finalmente, es fundamental continuar profundizando en el análisis y aplicación de modelos de supervivencia más flexibles y robustos, capaces de manejar adecuadamente la influencia de observaciones atípicas y de reflejar con mayor precisión la complejidad de los datos. Esta estrategia permitirá fortalecer la validez de las inferencias, garantizando conclusiones más confiables en contextos regulatorios y de toma de decisiones, que permitan prever afectaciones sistémicas en el mercado eléctrico colombiano.

8. Bibliografía

- Aguilar, A., & Díaz, J. (2004). Una visión del mercado eléctrico colombiano. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23(4), 589–609. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x>
- Alves, B. C., & Dias, J. G. (2015). Survival mixture models in behavioral scoring. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 3902–3910. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.036>
- ANDESCO. (2014). *Propuesta para modificar la Resolución CREG 072 de 2002 y resoluciones afines (CREG 091/2003, CREG 121/2003, CREG 034/2004)*. Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones. <https://www.andesco.org.co>
- Andersen, P. K., & Gill, R. D. (1982). Cox's regression model for counting processes: A large sample study. *The Annals of Statistics*, 10(4), 1100–1120. <https://www.jstor.org/stable/2240635>
- Arango Castillo, M. J., & Botero Baena, A. (2024). *Análisis de impacto de los indicadores de sostenibilidad (ESG) en el valor de las compañías del sector energético en América Latina* [Trabajo de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/bitstreams/94ae8fc2-f087-4a70-9b95-2fe2a0ffaf05/download>
- Barrera, F., & García, A. (2010). *Desempeño del mercado eléctrico colombiano en épocas de Niño: Lecciones del 2009–10* [Informe]. Acolgen. https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2022/04/ACOLGEN_DESEMPENO-DEL-MERCADO-ELECTRICO-COLOMBIANO-EN-EPOCAS-DE-EL-NINO-LECCIONES-DEL-2009-2010.pdf
- Barrientos Marín, J., & Toro Martínez, M. (2015). La hidrología como predictor del comportamiento del precio de energía en bolsa*. *Perfil De Coyuntura Económica*, (25), 125–140. Recuperado a partir de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/coyuntura/article/view/26451>
- Beaver, W. H. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of Accounting Research*, 4, 71–111. <https://doi.org/10.2307/2490171>
- Benavides, J. et al. (2018). Mercado eléctrico en Colombia: transición hacia una arquitectura descentralizada. Bogotá: Fedesarrollo, 150 p. Cuadernos de Fedesarrollo. No. 68. [CDF No 68 Novimbre 2018.pdf \(fedesarrollo.org.co\)](https://www.fedesarrollo.org.co/CDF_No_68_Novimbre_2018.pdf).
- Buriticá Chica, Y. M. (2014). Indicadores de alerta temprana del riesgo de crédito para el Mercado de Energía Mayorista Colombiano.
- CIGRE C5.22, CIGRE Working Group. (2019). The Management of Systemic Market Risk in Electricity. Technical Brochure.

Comisión de Integración Energética Regional. (2017). Metodología de Análisis del Riesgo financiero en el Mercado De Energía Mayorista Colombiano.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (1995). *Resolución 024 de 1995, por la cual se reglamentan los aspectos comerciales del mercado mayorista de energía en el sistema interconectado nacional* [Resolución]. Diario Oficial de la República de Colombia / SUIN-Juriscol. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=4010511>

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (1998). *Resolución 116 de 1998, por la cual se establecen disposiciones relacionadas con la comercialización de energía eléctrica en el mercado mayorista*. Diario Oficial de la República de Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2002). *Resolución 072 de 2002 (29 de octubre). Por la cual se establece la metodología para clasificar las personas prestadoras de los servicios públicos, de acuerdo con el nivel de riesgo y se definen los criterios, metodologías, indicadores, parámetros y modelos de carácter obligatorio*. Diario Oficial No. 44.984, 1 de noviembre de 2002. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0072_2002.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2003). *Resolución 001 de 2003, por la cual se reglamenta la participación de los comercializadores y demás agentes en el mercado de energía eléctrica*. Diario Oficial de la República de Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2011). *Resolución 156 de 2011, por la cual se adoptan disposiciones sobre la operación del mercado eléctrico colombiano*. Diario Oficial de la República de Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2006). *Resolución 019 de 2006, por la cual se modifican algunas disposiciones en materia de garantías y pagos anticipados de los agentes participantes en el Mercado de Energía Mayorista* [Resolución]. SUIN-Juriscol / VLex.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2007). *Resolución 119 de 2007, por la cual se establece la fórmula tarifaria general que deben aplicar los comercializadores minoristas* [Resolución]. RedJurista.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2014). *Resolución 180 de 2014, por la cual se establecen los criterios generales para determinar la remuneración de la actividad de comercialización de energía eléctrica a usuarios regulados* [Resolución]. VLex / RedJurista

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2020). *Resolución 012 de 2020, por la cual se establece una opción tarifaria para definir los costos máximos de prestación del servicio que podrán ser trasladados a los usuarios regulados del servicio público de energía eléctrica en*

el Sistema Interconectado Nacional [Resolución]. Gestor Normativo CREG.

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0012_2020.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2020). *Resolución 060 de 2020, por la cual se adoptan medidas transitorias para el pago diferido de las facturas emitidas en el suministro y en el transporte para la prestación del servicio público de gas combustible por redes* [Resolución]. Gestor Normativo CREG.

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0060_2020.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2022, 16 de septiembre). *Resolución 101 027 de 16 SEP. 2022, por la cual se permite el cambio de IPP para el cálculo de componentes del costo unitario de los cargos de distribución y transmisión* [Resolución]. ANDI.

<https://www.andi.com.co/Uploads/Creg101%20027.pdf>

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2022). *Resolución 101 029 de 2022, por la cual se adoptan mecanismos de pago diferido para los comercializadores* [Resolución]. Gestor Normativo CREG.

<https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/%24FILE/Procedimiento%20Resolucion%20101%20029%20de%202022.pdf>

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2024, 18 de noviembre). *Resolución 101 066 de 2024, por la cual se definen nuevos precios de escasez del Cargo por Confiabilidad y se modifican la Resolución CREG 071 de 2006 y otras disposiciones* [Resolución]. Gestor Normativo CREG.

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n_CREG_101_066_2024

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2025, 21 de junio). *Resolución CREG 101 076 de 2025, “Por la cual se resuelve sobre la modificación de disposiciones del Cargo por Confiabilidad y otros aspectos del mercado mayorista de energía”* [Resuelve]. Gestor Normativo CREG.

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n_CREG_101_076_2025/Resoluci%C3%B3n_CREG_101_076_2025.pdf

Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. (2006). *Convergencia internacional de medidas y normas de capital: Marco revisado – versión integral*. Banco de Pagos Internacionales.

https://www.bis.org/publ/bcbs128_es.pdf

Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. (2011). *Basilea III: Marco regulador global para reforzar los bancos y sistemas bancarios (versión revisada de junio de 2011)*. Banco de Pagos Internacionales. https://www.bis.org/publ/bcbs189_es.pdf

Cox, D. R. (1972). *Regression Models and Life-Tables*. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 34(2), 187–220.

- Fernández Castaño, H., et al. (s.f.). *Modelación y pronóstico de variables macroeconómicas para evaluar el desempeño financiero del sector energía eléctrica en Colombia* [Proyecto de investigación]. Universidad de Medellín. <https://investigaciones-pure.udemedellin.edu.co/es/projects/modelaci%C3%B3n-y-pron%C3%B3stico-de-variables-macroecon%C3%B3micas-para-evaluar-6>
- Gepp, A., & Kumar, K. (2008). *The role of survival analysis in financial distress prediction*. International Research Journal of Finance and Economics, 16(16), 13-34.
- Gepp, A., & Kumar, K. (2015). *Predicting financial distress: A comparison of survival analysis and decision tree techniques*. Procedia Computer Science, 54, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.046>
- Gepp, A. (2015). *Financial statement fraud detection using supervised learning methods*
- Gil, M. M. (2018). *Retos para la Gestión de Riesgos en los Mercados de Energía*. CIGRE Colombia. Obtenido de <http://www.cigrecolombia.org/Documents>
- Grambsch, P. M., & Therneau, T. M. (1994). Proportional hazards tests and diagnostics based on weighted residuals. Biometrika, 81(3), 515–526. <https://doi.org/10.1093/biomet/81.3.515>
- Godlewski, C. J. (2015). *The dynamics of bank debt renegotiation in Europe: A survival analysis approach*. Economic Modelling, 49, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.03.007>
- Gómez-González, J. E., & Orozco Hinojosa, I. P. (2010). *Un modelo de alerta temprana para el sistema financiero colombiano*. Ensayos sobre Política Económica, 28(62), 124–147. [https://doi.org/10.32468/espe.62.06\[1\]\(http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-44832010000200004\)](https://doi.org/10.32468/espe.62.06[1](http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-44832010000200004))
- González, Juan R., & Peña, Edsel A. (2004). Estimación no paramétrica de la función de supervivencia para datos con eventos recurrentes. Revista Española de Salud Pública, 78(2), 189-199. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272004000200006&lng=es&tlng=es.
- Hernández-Ramírez, M. (2014). *Modelo financiero para la detección de quiebras con el uso de análisis discriminante múltiple*. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, 15(32), 4–19. Universidad de Costa Rica. [https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v15n32/2215-2458-is-15-32-00004.pdf\[1\]\(https://www.redalyc.org/pdf/666/66633023001.pdf\)](https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v15n32/2215-2458-is-15-32-00004.pdf[1](https://www.redalyc.org/pdf/666/66633023001.pdf))
- Jaramillo, J., Medina, S., & Manco, O. (2007). *Propuesta de modelación para variables macroeconómicas que afectan los estados financieros en empresas del sector energético*. Centro de Investigación de la Energía Regional (CIER). <https://cier.org/conocimiento/propuesta-de-modelacion-para-variables-macroeconomicas-que-afectan-los-estados-financieros-en-empresas-del-sector-energetico/>

- Jenkins, S. P. (2004). *Survival analysis* [Manuscrito no publicado]. Institute for Social and Economic Research, University of Essex, Colchester
- Klein, J. P., & Moeschberger, M. L. (1997). *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data*. Springer.
- Korner, M.-F., Sedlmeir, J., Weibelzahl, M., Fridgen, G., Heine, M., y Neumann, C.(2022). *Systemic risks in electricity systems: A perspective on the potential of Energy Policy*, 164. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522001264>
- Ministerio de Minas y Energía (MME). (2023, 10 de octubre). *Resolución 40611 de 2023, por la cual se adoptan medidas para darle continuidad a la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica durante el periodo de baja hidrología e inminente llegada del Fenómeno del Niño* [Resolución]. Diario Oficial No. 52.544. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40611_2023.htm
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Memorias al Congreso de la República 2023-2024*. Bogotá D.C., Colombia. https://www.minenergia.gov.co/documents/12320/Memorias_al_Congreso_de_la_Republica_2023-2024.pdf
- Ratnaningsih, D. J., Saefuddin, A., Kurnia, A., & Mangku, I. W. (2019). *Stratified-extended Cox model in survival modeling of non-proportional hazard*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 299, 012023. [https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012023\[1\]\(https://zh.mindat.org/reference.php?id=9585158\)](https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012023[1](https://zh.mindat.org/reference.php?id=9585158))
- República de Colombia. (2023, 9 de octubre). *Decreto 1637 de 2023, por el cual se adiciona el Capítulo 12 al Título 7 de la Parte 6 del Libro 2 del Decreto 1068 de 2015, Único Reglamentario del Sector Hacienda y Crédito Público, para la creación de una línea de crédito directo con tasa compensada destinada a las empresas distribuidoras y comercializadoras de energía eléctrica* [Decreto]. Diario Oficial / Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=223050>
- Támara Ayús, J. A., & Villegas Arias, C. A. (2021). *Factores determinantes de la quiebra empresarial en Colombia: un análisis empírico*. Contaduría y Administración, 66(2), 1–25.
- Therneau, T. M., & Grambsch, P. M. (2000). *Modeling survival data: Extending the Cox model*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3294-8>
- Thenmozhi, M., Jeyaseelan, V., Jeyaseelan, L., Isaac, R., & Vedantam, R. (2019). Survival analysis in longitudinal studies for recurrent events: Applications and challenges. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(3), 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.01.013>

XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P. (s. f.). *Glosario: Agente comercializador*.
<https://www.xm.com.co/proveedores/informaci%C3%B3n-de-inter%C3%A9s/glosario>

Zhou, F., Fu, L., Li, Z., & Xu, J. (2022). The recurrence of financial distress: A survival analysis. *International Journal of Forecasting*, 38(3), 1100–1115. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.12.005>

Anexo 1. Definición de variables para el análisis de supervivencia

Nombre de la variable	Descripción	Unidad de medida
Razón Corriente	Relación entre activos corrientes y pasivos corrientes, que mide la capacidad de la empresa para cubrir sus obligaciones de corto plazo.	Razón (número de veces)
Flujo de caja / Servicio de la deuda	Indicador de liquidez que muestra la capacidad de la empresa para atender el pago de su deuda con el flujo de caja generado.	Razón (número de veces)
Margen Neto	Porcentaje de utilidad neta respecto a los ingresos operacionales, refleja la rentabilidad final de la empresa.	%
Utilidad neta / Patrimonio	Relación que mide la rentabilidad del patrimonio invertido.	Razón (número de veces)
EBITDA / Ingresos operacionales	Proporción del resultado operativo frente a los ingresos, indicador de eficiencia operativa.	%
Variación EBITDA	Cambio porcentual del EBITDA respecto al periodo anterior.	%
EBITDA / Gastos financieros	Relación que mide la capacidad de cubrir los gastos financieros con el resultado operativo.	Razón (número de veces)
Patrimonio / Activos	Proporción del patrimonio frente al total de activos, indicador de apalancamiento.	%
Pasivos corrientes / Pasivos	Relación que muestra la proporción de las obligaciones de corto plazo sobre el total de pasivos.	%
Deuda financiera / EBITDA	Indicador de endeudamiento que mide cuántas veces el EBITDA cubre la deuda financiera.	Razón (número de veces)
Demanda nacional	Cantidad total de energía demandada en el mercado nacional.	kWh
Precio Promedio Ponderado de Bolsa Mensual	Valor promedio de la energía transada en bolsa durante el mes.	\$COP/kWh
Precio Promedio Ponderado de Contratos Regulados (MC)	Valor promedio de la energía en contratos regulados.	\$COP/kWh
Energía comprada y vendida en contratos	Volumen de energía transada en contratos.	kWh
Energía comprada y vendida en Bolsa	Volumen de energía transada en bolsa.	kWh
Compras y ventas en contratos	Valor monetario de las transacciones en contratos.	\$COP
Compras y ventas en la bolsa de energía	Valor monetario de las transacciones en bolsa.	\$COP
Ingresos netos en contratos	Resultado neto de las operaciones en contratos.	\$COP
Ingresos netos en bolsa	Resultado neto de las operaciones en bolsa.	\$COP

Exposición en bolsa	Volumen de energía expuesto en bolsa.	kWh
Porcentaje de exposición en bolsa	Proporción de energía expuesta en bolsa respecto al total.	%
Exposición en bolsa	Valor monetario de la exposición en bolsa.	\$COP
Valor neto por pagar por transacciones en bolsa	Obligación neta derivada de las operaciones en bolsa en el mes analizado.	\$COP
Número de incumplimientos en obligaciones	Cantidad de incumplimientos en garantías y facturas durante un mes.	Número
Antigüedad en el mercado	Tiempo desde el registro ante XM.	Número de meses desde el registro
CROM 1	Capacidad de Respaldo para las Operaciones en el Mercado para venta de energía	kWh / \$COP
CROM 2	Capacidad de Respaldo para las Operaciones en el Mercado para compra de energía	kWh / \$COP