



Comisión
Nacional de
**Evaluación y
Productividad**

Uso de inteligencia artificial para la caracterización de la carga regulatoria ambiental de proyectos en desarrollo





Comisión
Nacional de
**Evaluación y
Productividad**

Uso de inteligencia artificial para la
caracterización de la carga regulatoria
ambiental de proyectos en desarrollo

Copyright © 2025. Todos los derechos de
Comisión Nacional de Evaluación y Productividad,
Amunátegui 232, of. 401, Santiago, Chile.
www.cnep.cl

Uso de inteligencia artificial para la caracterización de la carga regulatoria ambiental de proyectos en desarrollo

Investigador Líder:
Cristian Romero.

Equipo técnico CNEP:
Constanza Rosales, Benjamín Torres y Benjamín Vergara.

Investigador Externo:
Gabriel Weintraub.

Ayudante Investigación Externo:
Samyak Jain.

Consultoras Externas:
Camila Monárdez y Verónica Muñoz.

Agradecimientos:
La Comisión Nacional de Evaluación y Productividad agradece especialmente el aporte del Profesor Gabriel Weintraub (The Amman Mineral Professor of Operations, Information & Technology, Escuela de Negocios, Universidad de Stanford), cuya colaboración contribuyó de manera significativa al diseño metodológico y a la revisión crítica de los resultados. Gabriel Weintraub agradece el apoyo de Stanford Impact Labs, a través de la beca Scholars in Service, así como el respaldo de la Escuela de Negocios de la Universidad de Stanford.

Fotografía de portada
© Parkova/Shutterstock.com

Fotografía interiores
© Parkova, Parilov, NicoElNino, U-Studiography DD59, 3rdtimeluckystudio, qViktor Lom /Shutterstock.com

Diseño y diagramación
María Jesús Camus Ipinza
www.jes-u.cl

<http://www.cnep.cl>
El uso desautorizado de cualquier parte de esta publicación está prohibido.

Contenido

7	Acrónimos
9	Comisión Nacional de Productividad
10	Resumen Ejecutivo

Capítulo 1

15	Introducción
----	--------------

Capítulo 2

21	Alcance del estudio
21	La carga regulatoria ambiental
22	La elección del tipo de regulación
22	La Resolución de Calificación Ambiental(RCA) como fuente de información
24	Muestra seleccionada
25	Proyectos Mineros
26	Proyectos de energía

Capítulo 3

31	Metodología
31	Concepto y categorías de obligación
32	Estructura de las RCAs
34	Extracción, estructuración y clasificación de obligaciones
34	El desafío metodológico
36	Etapa I: Extracción y estructuración de subconsiderandos
38	Etapa II: Identificación y caracterización de obligaciones

Capítulo 4

45	Validación
----	------------

Capítulo 5

51	Resultados
51	Intensidad de la carga regulatoria ambiental
55	Origen de la carga regulatoria ambiental
70	Caracterización de la carga regulatoria ambiental

Capítulo 6

81 Conclusiones

83 Referencias

Acrónimos

CMN	CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES
CNEP	COMISIÓN NACIONAL DE EVALUACIÓN Y PRODUCTIVIDAD
DFL	DECRETO CON FUERZA DE LEY
DGA	DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIA	DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
DS	DECRETO SUPREMO
EIA	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
IA	INTELIGENCIA ARTIFICIAL
IAGEN	INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
ICE	INFORME CONSOLIDADO DE EVALUACIÓN
IFC	INFORME FAVORABLE PARA LA CONSTRUCCIÓN
LGUC	LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES
LLM	LARGE LANGUAGE MODEL (MODELO DE LENGUAJE EXTENSO)
MINSAL	MINISTERIO DE SALUD
MMA	MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
OCR	OPTICAL CHARACTER RECOGNITION (RECONOCIMIENTO ÓPTICO DE CARACTERES)
OGUC	ORDENANZA DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES
PAS	PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL
RCA	RESOLUCIÓN DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL
RESPEL	RESIDUOS PELIGROSOS
RETC	REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIAS DE CONTAMINANTES
RSEIA	REGLAMENTO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
SAG	SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO
SEA	SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA REGULATORIA AMBIENTAL DE PROYECTOS EN DESARROLLO

SEIA	SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
SMA	SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE
SNGM	SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

Comisión Nacional de Productividad

La Comisión Nacional de Evaluación y Productividad es una institución creada por el Decreto Presidencial N° 270, del 9 de febrero de 2015. Es un ente consultivo, independiente y autónomo. En agosto de 2021, se modificó la normativa que regía el funcionamiento de la CNP (Comisión Nacional de Productividad), ampliándose sus funciones. Dicho reglamento confirma su función de generar recomendaciones para mejorar la productividad y bienestar de las personas, proponiendo políticas públicas fundamentadas técnicamente y que reflejen la opinión de la sociedad civil. Adicionalmente establece que debe asesorar al Presidente de la República en materias relacionadas con mejoras en la calidad regulatoria y en la evaluación de políticas y programas públicos, incluyendo las metodologías utilizadas.

Además, definió su nuevo nombre Comisión Nacional Asesora de Evaluación y Productividad (CNEP). La CNEP opera con un consejo compuesto por cinco miembros de carácter técnico y transversal, designados por la Presidencia de la República.

Consejeros

Pablo García, Presidente 2025

Raphael Bergoeing, Ex-Presidente 2019-2025

Marcela Angulo

Pamela Jervis

Susana Mondschein

Andrés Zahler

Resumen Ejecutivo

La regulación es un instrumento fundamental de política pública. Bien diseñada, protege bienes colectivos, corrige fallas de mercado y entrega certidumbre a los inversionistas. Sin embargo, cuando se acumula sin revisión, presenta inconsistencias o impone cargas innecesarias, puede convertirse en una barrera para la productividad y la inversión. En este contexto, la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (CNEP) ha impulsado este primer ejercicio de medición de la carga regulatoria ambiental que enfrentan sectores estratégicos de la economía chilena.

El estudio se centra en las RCAs, documentos que condensan todas las obligaciones que debe cumplir un proyecto para ser aprobado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Analizar este acervo manualmente es complejo, debido a la extensión, heterogeneidad y falta de estandarización de los textos. La reciente disponibilidad de herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IA Gen) permite superar estas limitaciones, transformando documentos no estructurados en bases de datos auditables, comparables y escalables.

Aplicando esta herramienta, se procesaron 1.336 RCAs correspondientes a proyectos de los sectores de minería y energía, aprobados entre 2015 y 2024, que representan un 62 % de la inversión aprobada en el SEIA en dicho período. Cada obligación contenida en ellas fue extraída, clasificada y caracterizada según variables como origen normativo, componente ambiental protegido o fase del proyecto en que aplica.

Los resultados permiten dimensionar con precisión la magnitud y composición de la carga regulatoria ambiental:

- Se identificaron más de 220.000 obligaciones fiscalizables, con una tendencia sostenida al alza en el número promedio de obligaciones por proyecto durante la última década.
- El 63 % de las obligaciones tiene un origen normativo explícito, mientras que el 37 % restante corresponde a condiciones específicas de la RCA o a compromisos voluntarios.
- Los Estudios de Impacto Ambiental concentran, en promedio, más del doble de obligaciones que las Declaraciones de Impacto Ambiental, coherente con la

escala y complejidad de los impactos ambientales que generan los proyectos.

Asimismo, los proyectos energéticos suelen enfrentar una mayor carga regulatoria que los mineros, salvo en grandes iniciativas, donde la diferencia se atenúa.

- Predominan las obligaciones de medios, que detallan procedimientos específicos, lo que podría reducir la flexibilidad del instrumento, pero facilitar la fiscalización. También se observa un aumento en las obligaciones secundarias, centradas en reportes y verificación.

- Los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) más frecuentes se concentran en la gestión de residuos, el uso de aguas y la subdivisión de terrenos rurales. En materia de contingencias y emergencias, los proyectos priorizan riesgos operacionales y naturales, como el manejo de sustancias peligrosas, incendios o eventos geofísicos.

Este ejercicio constituye un esfuerzo sistemático de cuantificación de la carga regulatoria ambiental en Chile. Los resultados entregan evidencia objetiva y trazable sobre cómo ha evolucionado la regulación que pesa sobre los proyectos de inversión y muestran el potencial de nuevas tecnologías para apoyar el análisis regulatorio.

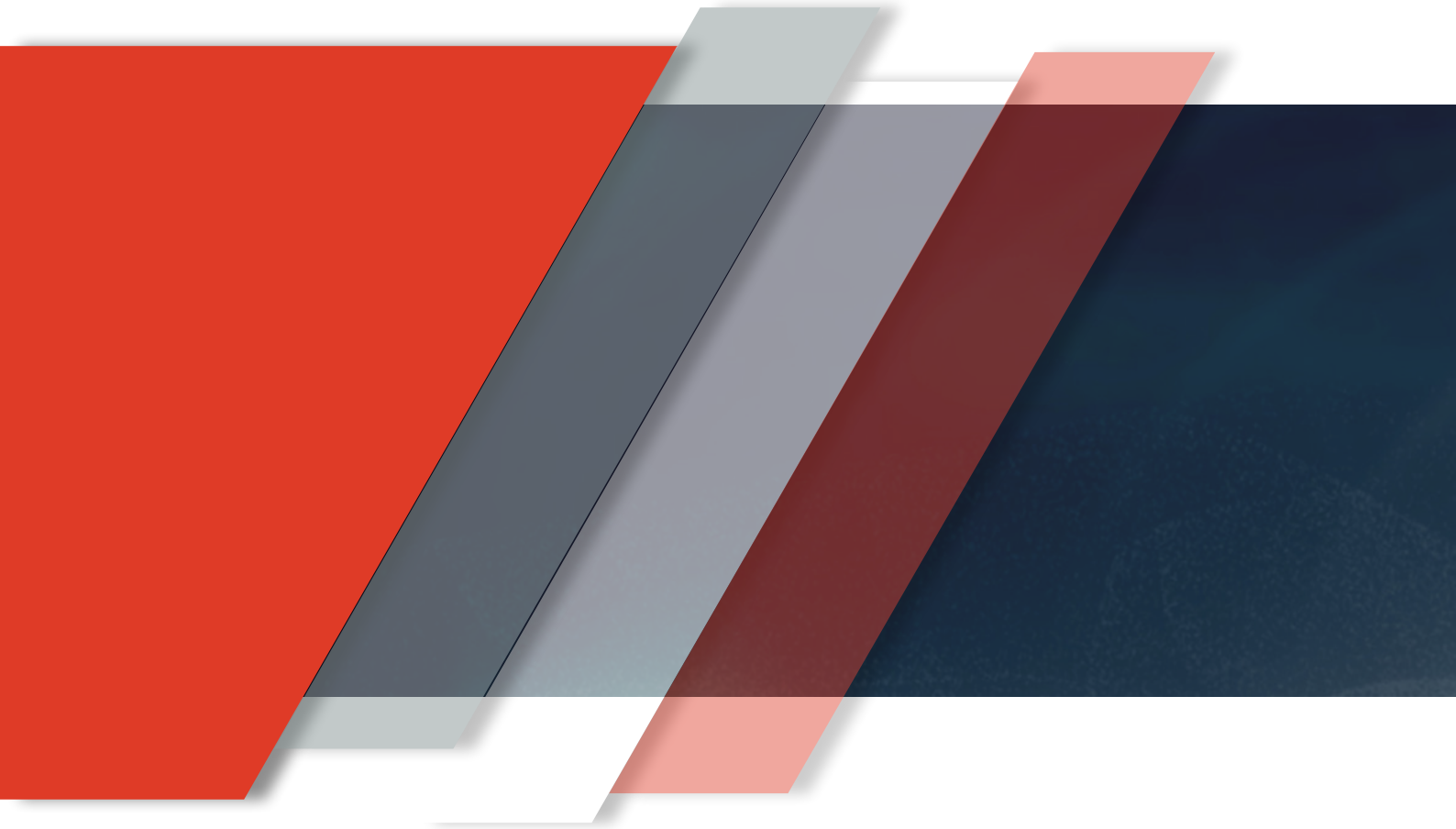
Más allá de los hallazgos específicos, el estudio ofrece un marco metodológico replicable para otros sectores. Con ello, se avanza hacia un sistema regulatorio más transparente, basado en evidencia y capaz de equilibrar de mejor forma la protección ambiental con el desarrollo económico.

El uso de IA Gen requiere insumos de calidad y supervisión experta. Los modelos pueden homogenizar criterios, pero también introducir sesgos o errores de interpretación. Este ejercicio, de carácter exploratorio, privilegia trazabilidad y replicabilidad.

Para acceder a un análisis detallado y dinámico de los resultados, puedes visitar el dashboard interactivo en este link: www.cnep.cl



Capítulo 1



Introducción

La calidad regulatoria es una condición esencial para el bienestar y el desarrollo de un país. Si bien las regulaciones son instrumentos de política pública fundamentales para corregir fallas de mercado y proteger bienes jurídicos esenciales, cuando su diseño es deficiente, su aplicación inconsistente o su acumulación excesiva, pueden imponer una carga desproporcionada sobre los agentes económicos, afectando la inversión de largo plazo y la productividad.¹

Revisión del stock regulatorio

Durante sus diez años de existencia, la CNEP ha puesto un énfasis sistemático en la revisión del acervo normativo o stock regulatorio. Este ejercicio busca identificar qué regulaciones de tipo ambiental se aplican ante realidades económicas, sociales y tecnológicas cambiantes, y cómo han evolucionado en los últimos diez años. Ello permite fortalecer la transparencia, la legitimidad de la acción pública y la eficacia del Estado. En consecuencia, la revisión regulatoria es un componente esencial de una democracia sólida y de un aparato público que se adapta de manera continua.

El desafío de evaluar regulaciones

Evaluar rigurosamente regulaciones es una tarea compleja. Deben considerarse sus efectos tanto individuales como sistémicos. Además, se requiere tomar en cuenta diversas variables y elementos inherentes a su diseño y aplicación: las normas pueden mutar en sus efectos, ampliándolos a hipótesis no contempladas originalmente. Asimismo, su implementación puede presentar falencias asociadas a limitaciones de recursos, deficiencias operativas o barreras institucionales. Finalmente, es clave conocer el nivel de cumplimiento por parte de los regulados, pues su efectividad se vincula estrechamente con su capacidad para modificar efectivamente sus conductas.

¹ Ver, entre otros: Égert (2016); Nicoletti and Scarpetta (2003); World Bank (2023); Bourlès et al. (2013); Solow (1956); Mankiw et al. (1992); Bond et al. (2010); North (1990); Djankov et al. (2002); Aghion et al. (2021); Gulen and Ion (2016).

Caracterizar y ponderar adecuadamente estos elementos requiere procesar grandes volúmenes de información, muchas veces contenida en documentos extensos, no estructurados y de difícil sistematización, lo que representa costos, plazos y riesgo de sesgo humano que han hecho que análisis exhaustivos y sistemáticos hayan sido, hasta ahora, una tarea lenta y dificultosa. De haberse realizado de manera manual por una sola persona, la revisión de las 1.336 RCAs para extraer y clasificar las obligaciones habría requerido aproximadamente un año de trabajo.

La reciente disponibilidad de herramientas de IA Gen² abre nuevas posibilidades para enfrentar tales limitaciones. Estas tecnologías permiten transformar información no estructurada en bases de datos consistentes y auditables, lo que habilita análisis a gran escala y con un nivel de detalle difícil de lograr con métodos tradicionales.

Su uso, sin embargo, plantea desafíos relacionados con la calidad de los datos de entrada, la interpretabilidad de los modelos y los posibles sesgos algorítmicos.³ Gestionar estos riesgos es condición necesaria para que las nuevas metodologías complementen, y no sustituyan, el juicio experto.

En este contexto, es fundamental que los aportes que las nuevas tecnologías pueden generar al análisis, revisión y evaluación de regulaciones sean explorados y analizados en profundidad.

Objetivo del estudio

El presente estudio utiliza herramientas de IA Gen para identificar y caracterizar la carga regulatoria de origen ambiental que enfrentan sectores estratégicos de la economía nacional.

Se busca, en particular:

1. Generar evidencia sistemática y comparable sobre las obligaciones contenidas en las RCAs, que constituyen el principal instrumento de gestión ambiental en Chile. La idea es dimensionar y caracterizar la carga regulatoria ambiental que enfrentan sectores estratégicos de la economía —en este caso minería y energía— analizando más de 1.300 RCAs emitidas entre 2015 y 2024.

² La IA generativa, a veces llamada IA Gen, es una inteligencia artificial (IA) que puede crear contenido original (como texto, imágenes, video, audio o código de software) en respuesta a una instrucción o un mensaje del usuario. IBM

³ Ver Dziri et al. (2023); Srivastava et al. (2024); Wu et al. (2024); Berglund et al. (2024); Gulati et al. (2024); Xu et al. (2024); Yue et al. (2025)

2. Explorar los alcances y limitaciones de un enfoque de análisis regulatorio apoyado en tecnologías, escalable y tecnológicamente avanzado, capaz de convertir información regulatoria opaca en conocimiento y datos que sean accionables.

En definitiva, el presente estudio es un esfuerzo en pos de la construcción de un sistema regulatorio más eficiente y transparente, alineado con estándares internacionales y sensible a los desafíos del desarrollo sostenible en Chile.

Capítulo 2





Alcance del estudio

Este estudio identifica y caracteriza la carga regulatoria de naturaleza ambiental aplicable a proyectos en desarrollo de los sectores minero y energético que obtuvieron su RCA entre los años 2015 y 2024. Para ello, se utiliza una batería de herramientas de IA Gen que permiten procesar y analizar grandes volúmenes de información contenida en estas resoluciones.

Para una mejor comprensión, se comenzará por definir el concepto de carga regulatoria ambiental, para luego explicar los ejes en torno a los cuales se estructura el análisis que será presentado en los capítulos posteriores.

La carga regulatoria ambiental

En este estudio, el concepto de *carga regulatoria* se refiere a las exigencias, deberes o costos que las regulaciones imponen a las empresas y organizaciones. Toda regulación implica algún tipo de carga, ya que para cumplirla las personas y las compañías deben realizar actividades adicionales a las que harían en ausencia de ella.⁴ Estas cargas pueden expresarse en costos administrativos, costos de cumplimiento o en costos indirectos derivados de demoras e incertidumbre.⁵

Los esfuerzos de medición de la carga regulatoria han sido tradicionalmente de dos tipos: el conteo y el costeo. Mientras los métodos de conteo cuantifican la carga mediante la enumeración de los aspectos específicos que derivan de la regulación (por ejemplo, número de textos normativos aplicables o extensión de los mismos), los métodos de costeo intentan determinar la magnitud de recursos y tiempo que una empresa o individuo debe aplicar para cumplir con ella.⁶

Para este estudio, se opta por una variante de la metodología de conteo, que identifica la carga regulatoria ambiental mediante el número de obligaciones aplicables a un proyecto durante su desarrollo, pero que se diferencia de los métodos de conteo más frecuentemente utilizados en tres aspectos fundamentales:

⁴ OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development (2016)

⁵ Cordes et al. (2022)

⁶ OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development (2016, p. 140).

1. Se enfoca en la carga regulatoria efectivamente aplicada a proyectos de inversión, evaluando cómo el marco normativo se ha concretado en casos particulares. La mirada, más que en el texto legal, se enfoca en su aplicación práctica.
2. Entrega antecedentes que permiten dotar de un alto nivel de granularidad al análisis, al utilizar como unidad de estudio cada obligación fiscalizable por la autoridad competente y que, en caso de incumplimiento, puede llevar aparejada una sanción.
3. Busca establecer trazabilidad desde los niveles normativos generales hasta cada una de las obligaciones particulares identificadas.

El análisis se organizó en torno a la evolución de los últimos 10 años de tres variables clave:

1. Intensidad: número de obligaciones aplicables a los proyectos analizados.
2. Origen: fuente normativa o de otra naturaleza, que justifica la existencia de la obligación.
3. Caracterización: descripción de las obligaciones en función de diversas tipologías.

La elección del tipo de regulación

En cuanto al foco en la regulación ambiental, la decisión se fundó en dos aspectos principales:

Por una parte, es indudable que este tipo de normativa impacta significativamente el desarrollo de proyectos de inversión para la mayoría de las actividades económicas. Tanto la reciente modificación del Reglamento del SEIA, como el proyecto de ley en discusión que busca modernizar sustancialmente dicho proceso,⁷ sumadas a la creciente atención pública en torno al tema, son prueba fehaciente de su alta prioridad en la política pública.

Por otra parte, se debe a la riqueza de las RCAs como fuente de información. Se trata de documentos de libre acceso que cumplen las condiciones necesarias para aprovechar el potencial de procesamiento de la IA Gen. Actualmente, no existe un repositorio organizado equivalente para otros tipos de regulación sectorial.⁸

La RCA como fuente de información

La RCA asociada a un proyecto de inversión es un acto administrativo que consolida en un único documento la totalidad de las regulaciones ambientales aplicables, así como la

⁷ A la fecha de publicación de este informe, el proyecto de ley que *"Modifica diversos cuerpos legales, con el objeto de fortalecer la institucionalidad ambiental y mejorar su eficiencia"*, boletín n° 16552-12, se encuentra en discusión en el Senado de la República.

⁸ Las RCAs se encuentran disponibles en la base de datos del SEIA, en <https://www.sea.gob.cl/>.

enumeración de las obligaciones que rigen su desarrollo. Esto permite identificar tanto las exigencias como su origen y forma de cumplimiento, especificados por la autoridad competente. La RCA se otorga en el marco del SEIA, administrado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), organismo encargado de verificar que los proyectos cumplan con la normativa ambiental y se hagan cargo de sus impactos.

Si bien las RCAs, que pueden sumar cientos de páginas de texto técnico-legal, constituyen una fuente de información regulatoria de gran riqueza, su volumen y complejidad dificultan la sistematización. Hasta ahora, una caracterización exhaustiva y cuantitativa de su contenido exigía un uso intensivo de tiempo y recursos, lo que generaba un vacío de información que este estudio busca comenzar a abordar.

Para este análisis, la información contenida en las RCAs es relevante desde dos perspectivas:

- Identifican la normativa ambiental aplicable a cada proyecto de inversión, su forma de cumplimiento y los permisos ambientales sectoriales requeridos.⁹
- Generan una serie de obligaciones derivadas de la evaluación del proyecto en particular, que en su mayoría pueden vincularse directamente con el cuerpo normativo aplicable.

De esta manera, se configura una especie de *traje a la medida*, una *microrregulación* ambiental, que especifica cómo debe cumplirse la normativa en un caso concreto.¹⁰

Todo ello se traduce en diversos deberes de conducta listados en la RCA, que conforman el conjunto de obligaciones impuestas por las autoridades ambientales como condición para autorizar la ejecución del proyecto.

Tanto la Ley 19.300 como el Reglamento del SEIA¹¹ establecen que estas obligaciones deben cumplirse estrictamente durante la construcción, operación y eventual cierre del proyecto.

A partir de ello, la jurisprudencia ha reconocido el denominado principio de estricta sujeción a la RCA, conforme al cual este acto administrativo se erige como la norma que regula por excelencia al proyecto, obligando a sus titulares a ajustarse a su contenido y a la interpretación coherente de la misma durante toda su ejecución.¹²

⁹ Según lo establecido en los artículos 18 l) y 19 c), en relación con el artículo 60 d), todos del RSEIA, DS 40 de 2012.

¹⁰ Hunter Ampuero (2023, p. 475).

¹¹ El artículo 24 inciso final de la Ley N° 19.300 y el artículo 71 del D.S. N° 40 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

¹² Paradójicamente, este principio ha dado lugar a debates doctrinarios sobre la falta de flexibilidad de la RCA. Se ha señalado que, si bien otorga certeza, puede transformarse en una carga ineficiente al exigir tecnologías o métodos que podrían optimizarse.

El órgano encargado de fiscalizar el cumplimiento de las obligaciones contenidas en la RCA es la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA),¹³ la cual tiene además la misión, conforme al artículo 64 del Reglamento del SEIA, de velar permanentemente por el cumplimiento de las condiciones bajo las cuales se aprobaron o aceptaron los EIAs y DIAs. En suma, la RCA constituye una base documental completa, verificable y trazable para cuantificar la carga regulatoria ambiental, tanto en lo relativo a la normativa aplicable como a las obligaciones particulares que condicionan la aprobación del proyecto y cuyo cumplimiento será fiscalizado posteriormente por la SMA.

Muestra seleccionada

La muestra analizada se compone de 1.336 RCAs¹⁴ aprobadas entre el 1° de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2024, correspondientes a proyectos de inversión de los sectores Minería y Energía. Estas resoluciones representan el 62 % del monto total de inversión aprobado en el SEIA y el 37 % del total de las autorizadas en el período.

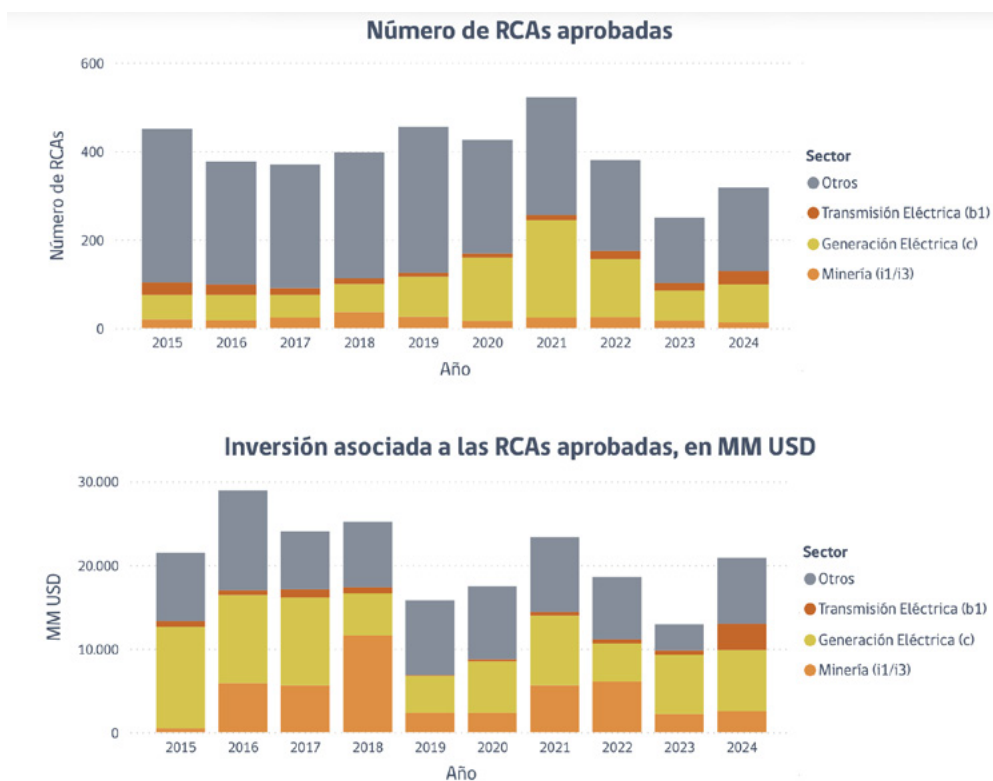
El período de análisis se definió considerando dos factores:

- Mantener la consistencia respecto a la normativa que regula el proceso de evaluación ambiental (D.S. 40 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, que contiene el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), lo que asegura homogeneidad en el análisis y comparabilidad suficiente entre las RCAs de la muestra.
- Un horizonte de 10 años se estimó adecuado para observar la evolución de las variables analizadas, particularmente dado los extensos plazos que implica obtener una RCA.

La Figura 1 presenta la evolución temporal de la cantidad de proyectos y de la inversión comprometidas en las RCAs aprobadas, tanto a nivel agregado como en los sectores específicos analizados en este estudio.

¹³ De acuerdo con lo dispuesto en los artículos 2° y 3° letra a) de la Ley N° 20.417.
¹⁴ Que corresponden a un total de 126.927 páginas.

Figura 1: Magnitud de la muestra estudiada, desglosada por sector y año de calificación



Fuente: Elaboración Propia

Proyectos Mineros

Los proyectos mineros considerados en este estudio son aquellos que coinciden con la definición contenida en el estudio "Medición de la Ruta Crítica de Proyectos de Inversión Minera"¹⁵ y que corresponden a las siguientes tipologías descritas en el artículo 3° del Reglamento del SEIA:

- i.1 Proyectos de desarrollo minero: acciones u obras cuyo fin es la extracción o beneficio de uno o más yacimientos mineros y cuya capacidad de extracción de mineral es superior a cinco mil toneladas mensuales (5.000 t/mes).
- i.3 Proyectos de disposición de residuos y estériles: aquellos en que se dispongan residuos masivos mineros resultantes de la extracción o beneficio, tales como

¹⁵ CNEP. Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2024)

estériles, minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves, escorias y otros equivalentes, que provengan de uno o más proyectos de desarrollo minero que por sí mismos o en su conjunto tengan una capacidad de extracción considerada en la letra i.1 anterior.

Proyectos de energía

En el caso de los proyectos de energía, el estudio analiza aquellos que ingresaron al SEIA por las causales b.1 y c del artículo 3° de su Reglamento, correspondientes a proyectos de generación y transmisión eléctrica:

- b.1: Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje, que conducen energía con una tensión mayor a veintitrés kilovoltios (23 kV).
- c: Centrales generadoras de energía mayores a 3MW.



Capítulo 3



Metodología

Este capítulo presenta la metodología aplicada en el estudio. Su desarrollo completo, junto con los aspectos técnicos y procedimentales más detallados, se expone en el Anexo 1.

Concepto y categorías de obligación

Para efectos de este estudio, una obligación es todo deber de conducta susceptible de ser fiscalizado por la Superintendencia del Medio Ambiente, como consecuencia de haber sido descrito en las secciones analizadas de la RCA. Lingüísticamente, cada obligación puede manifestarse de múltiples maneras, en este estudio las entendemos como un acto de habla prescriptivo: un enunciado cuya función no es describir la realidad, sino imponer una acción específica (un deber de hacer, no hacer o dar) al titular del proyecto, sea que contengan operadores modales explícitos o implícitos, siempre que pueda extraerse la acción requerida, aun cuando las condiciones de cumplimiento puedan ser más o menos granulares.

En estos términos, la obligación constituye el bloque mínimo de información fiscalizable —o la unidad textual de análisis— que ha permitido caracterizar la carga regulatoria que la RCA impone a los proyectos estudiados.

Para su posterior revisión, se definieron categorías de obligaciones relevantes y que sean lo suficientemente transversales a distintos considerandos y tipos de proyectos. Se definió categorizar las obligaciones en las siguientes dimensiones:

-Según su fuente:

- Con sustento normativo expreso: basadas directamente en leyes o reglamentos específicos.
- Sin sustento normativo expreso: derivadas de la propia RCA, pudiendo corresponder a compromisos voluntarios del titular o a decisiones de la autoridad.

-Según su naturaleza:

- De resultados: centradas en el objetivo final (el “qué”), por ejemplo, no superar un límite de emisiones. El responsable tiene la libertad de elegir el método para lograrlo.

- De medios: orientadas al procedimiento o proceso (el “cómo”), por ejemplo, instalar un tipo específico de filtro. La obligación describe la acción que se debe realizar.
- Según su jerarquía:
 - Principales: buscan proteger directamente un interés ambiental (p.ej., reducción de emisiones).
 - Secundarias: facilitan o garantizan el cumplimiento de las principales (p.ej., informes periódicos), sin tener un efecto directo inmediato sobre el medio ambiente.
- Según la fase del proyecto:
 - Construcción
 - Operación
 - Cierre
- Según el componente ambiental:
 - Flora y fauna
 - Residuos y sustancias peligrosas
 - Emisiones
 - Patrimonio cultural y arqueológico
 - Aguas
 - Terreno, vialidad y entorno
 - Energía

Estructura de las RCAs

Para comprender la metodología expuesta a continuación, es fundamental comenzar por introducir la estructura de la información contenida en las RCAs, que se organiza en tres niveles jerárquicos presentes en todas las RCAs analizadas:

Considerandos: Secciones temáticas que agrupan materias específicas, como cumplimiento de la normativa ambiental, permisos ambientales sectoriales o compromisos voluntarios. Estas secciones siempre inician con un nuevo numeral. Como se señaló, el estudio sólo considera considerandos específicos, en particular:

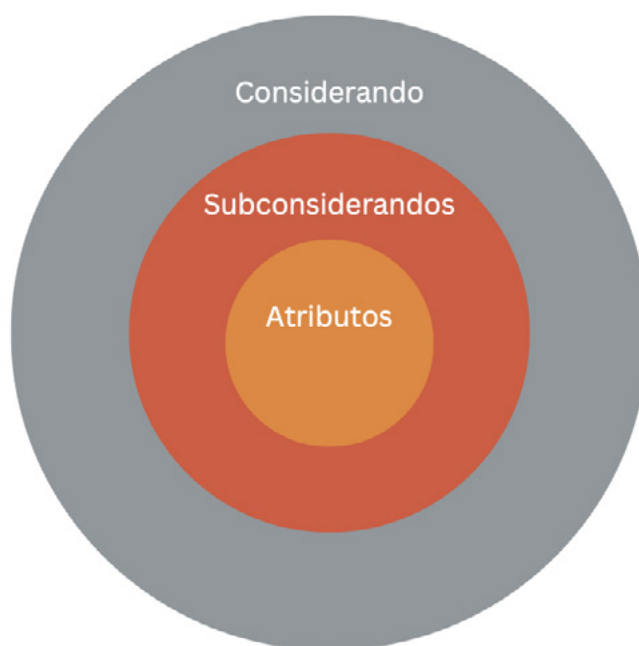
- Permisos Ambientales Sectoriales (PAS)
- Medidas de Mitigación, Reparación o Compensación
- Planes de Seguimiento
- Forma de Cumplimiento de la Normativa Ambiental
- Condiciones o Exigencias del Art. 25 de la Ley 19.300
- Compromisos Ambientales Voluntarios
- Planes de Contingencias y Emergencias

El análisis descarta la información contenida los vistos y resueltos de las RCA, así como los considerandos que describen el proyecto en sí mismo, o que refieren a obligaciones demasiado genéricas, para centrarse únicamente en la carga incremental atribuible a la regulación.

Subconsiderandos: Items dentro de cada considerando que detallan aspectos particulares (por ejemplo, la forma de cumplimiento de la normativa de emisiones, de flora y fauna, de residuos, etc.), a menudo en formato de tabla¹⁶. No obstante, en ciertos considerandos, como las condiciones del artículo 25 de la Ley 19.300, la información puede presentarse como texto libre, tal cómo se muestra en la Figura 3 de ejemplo.

Atributos: Unidad de información más específica. Detallan condiciones de cumplimiento de cada subconsiderando (cómo, cuándo y dónde). Algunos de los ejemplos son: fase del proyecto aplicable, componente ambiental, indicador de cumplimiento o forma de seguimiento. Este es el nivel en que distinguimos entre información que contiene y que no contiene obligaciones.

Figura 2: Estructura de las RCAs



Fuente: Elaboración Propia

¹⁶

Este es un concepto acuñado por la Comisión para efectos de este estudio, y no es de uso común.

Extracción, estructuración y clasificación de obligaciones

El enfoque metodológico se divide en dos etapas secuenciales: primero, la extracción y estructuración de la información desde los documentos originales; luego, la identificación e interpretación de las obligaciones a partir de los datos ya estructurados.

Esta metodología presenta dos ventajas importantes. Por un lado, permite separar el desafío de verificar adecuadamente los resultados del proceso de extracción, del problema interpretativo de identificación de obligaciones. Por el otro, el resultado de la primera etapa garantiza un input homogéneo para el análisis del segundo paso.

A continuación, a partir de un ejemplo, se abordarán los desafíos metodológicos y se explicará la metodología utilizada.

El desafío metodológico

El establecimiento de un procesamiento automatizado de la información para lograr los resultados expuestos implicó abordar múltiples desafíos:

- Variabilidad en la estructura: Dentro de la estructura jerárquica mencionada, los considerandos, subconsiderandos y atributos no se presentan de manera uniforme a lo largo de la muestra. Por ejemplo, los compromisos ambientales voluntarios pueden o no estar presentes en distintas RCAs.
- Orden inconsistente: El orden de considerandos, subconsiderandos, y atributos no sigue un patrón fijo entre RCAs, lo que dificulta la extracción sistemática.
- Diversidad de delimitadores: Se utilizan distintas formas para marcar el inicio de considerandos, subconsiderandos o atributos (en formato de texto o número).¹⁷ Aunque los subconsiderandos suelen numerarse, los errores de numeración son frecuentes, lo que complica el análisis.
- Información irrelevante: Existe información en la muestra que no es parte de las variables de interés de este estudio, circunstancia que impuso el desafío de distinguir entre la información relevante de la no relevante y descartar esta última. Por ejemplo, los atributos "Referencia al Informe Consolidado de Evaluación (ICE)" u "oportunidad y vías de comunicación a la SMA", no son pertinentes para este estudio, por lo que debieron ser descartados.

A modo de ejemplo, en la siguiente Figura 3, se muestra un extracto de la RCA del proyecto "Actualización Proyecto La Cruz Solar" (RCA N°21/2020 Servicio Evaluación Ambiental, Región de Antofagasta).

¹⁷ Un ejemplo es el atributo de fase, cuyo delimitador puede aparecer como "FASE", "fases", "fases de cumplimiento", "fases aplicables" o "fases del proyecto en las que se dará cumplimiento".

Figura 3: Captura de Pantalla de RCA “Actualización Proyecto La Cruz Solar”,
página 24

		Forma de cumplimiento	El Proyecto dará estricto cumplimiento a esta Resolución, no contemplando en sus equipos el uso de las sustancias citadas.
		Indicador que acredita su cumplimiento	Registro de cada equipo eléctrico que acredite el no uso de las mencionadas sustancias.
		Forma de control y seguimiento	Verificación de que se cuente con los documentos antes indicados.
Subconsiderando 7.2.1		7.2. Normas relacionadas con componentes ambientales (fauna, vegetación y flora, suelo, agua, patrimonio cultural)	
		Tabla 7.2.1 Ley N° 17.288, Ministerio de Educación	
Atributo 1		Componente/materia:	Patrimonio Cultural
Atributo 2		Norma	Ley N° 17.288/1970, del Ministerio de Educación, Ley de Monumentos Nacionales
Atributo 3		Otros cuerpos legales asociados	Decreto Supremo N° 484/1990, Ministerio de Educación.
Atributo 4		Fase del proyecto a la que aplica o en la que se dará cumplimiento	Construcción.
		Parte, obra, acción, emisión, residuo o sustancias a la que aplica	Escarpe y excavaciones.
		Forma de cumplimiento	Ante el hallazgo de materiales arqueológicos, antropológicos o paleontológicos, con ocasión de cualquier movimiento de tierra del Proyecto, se paralizarán completamente las obras asociadas al área del hallazgo y se informará de inmediato y por escrito al Gobernador Provincial y al Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), para que dicho organismo determine los procedimientos a seguir.
		Indicador que acredita su cumplimiento	Registro que evidencie el aviso a la autoridad de hallazgos arqueológicos (en el caso que corresponda)
		Forma de control y seguimiento	Verificación de que se cuenta con los registros antes indicado.
Considerando 8		8°. Que, para ejecutar el Proyecto deben cumplirse las siguientes condiciones o exigencias:	
		8.1. Previo a la fase de construcción, el titular deberá tramitar sectorialmente el PAS N° 160 ante el SAG, y corregir la diferencia de 0,025 hectáreas ante lo señalado por dicho Servicio en su ORD. N°665 de fecha 20 de diciembre de 2019.	
Subconsiderandos		8.2. El titular será el que determine y efectúe las labores de rescate, transporte, rehabilitación de fauna y reporte de las actividades de contingencias a la SMA, y gestione las coordinaciones con Centros de Rescate inscritos en el Registro Nacional de Tenedores de Fauna Silvestre del SAG.	
		8.3. Respecto a la tramitación sectorial del PAS N° 160, el titular deberá acoger todas las observaciones señaladas por la SEREMI de Vivienda y Urbanismo en su ORD. N° 1594 de fecha 18 de diciembre de 2019.	
Considerando 9		9°. Que, durante el procedimiento de evaluación de la DIA el titular del Proyecto propuso los siguientes compromisos ambientales voluntarios:	
		9.1. Compromiso ambiental voluntario contratación de mano de obra local	
		Impacto asociado	No aplica
		Fase del Proyecto a la que aplica	Construcción, operación y cierre.
		Objetivo, descripción y justificación	Objetivo: Alinearse con la “Estrategia Regional de Desarrollo de Región de Antofagasta”, relacionada con priorizar la contratación de mano de obra local, como de empresas de la zona, para las diferentes obras de las

Diversidad de delimitadores:

La fase se expresa de 2 maneras distintas en el ejemplo:
“Fase del proyecto a la que aplica o en la que se dará cumplimiento”
 (7.2.1)

“Fase del Proyecto a la que aplica”
 (9.1)

Orden Inconsistente:

El considerando de ‘condiciones y exigencias’ aparece antes del considerando de ‘compromisos ambientales voluntarios’. En algunas RCAs puede ocurrir que dicho orden cambie.

Variabilidad en la Estructura:

El considerando de ‘compromisos ambientales voluntarios’ presenta el atributo de ‘impacto asociado’, que en otras RCAs puede no presentarse.

Además, los subconsiderandos pueden presentarse en formato tabla o texto libre.

Fuente: RCA Proyecto “Actualización Proyecto La Cruz Solar”

Etapa I: Extracción y estructuración de subconsiderandos

La primera etapa consiste en extraer la información de cada subconsiderando y consolidarla en una base de datos intermedia. Aunque el objetivo es simple (replicar fielmente el contenido de interés), su ejecución es compleja, en parte porque muchos documentos se encuentran escaneados, lo que impide una extracción directa de texto o tablas.

Para resolverlo, tras la prueba de distintas herramientas¹⁸, se optó por combinar librerías de OCR y de extracción de tablas, con apoyo de LLMs para estructurar los datos. El procedimiento incluye:

1. Digitalización del texto: Los documentos escaneados se convierten en texto digital mediante OCR.
2. Segmentación de considerandos: Se delimitan los considerandos relevantes mediante coincidencia difusa (*fuzzy matching*), que permite identificar encabezados aun con variaciones de redacción. Se descartan los no pertinentes.
3. Segmentación de texto y tablas: Cada considerando se divide en fragmentos de texto que el LLM sea capaz de manejar de manera efectiva,¹⁹ con traslape para evitar pérdida de información y de su contexto. Paralelamente, las tablas se extraen y se combinan cuando abarcan varias páginas.
4. Procesamiento con LLMs: Los fragmentos y tablas convertidos a texto²⁰ se procesan con instrucciones, ejemplos y formatos de salida predefinidos. El modelo identifica y estructura los atributos de cada subconsiderando, sin importar la variación en su redacción.²¹
5. Consolidación y depuración: Se eliminan duplicados generados por el traslape, produciendo una tabla estructurada verificable contra el texto original.

A continuación, el Cuadro 1 muestra el resultado intermedio obtenido para la RCA anterior.²²

¹⁸ En la metodología alternativa descrita en el anexo 1 se propone otro enfoque, haciendo uso de herramientas de *Document Intelligence*.

¹⁹ Calibrando con distintos valores, se decidió por 4.500 *tokens* (Los *tokens* son la unidad básica de texto que procesan los LLMs, estos pueden ser tan cortos como un solo carácter o tan largos como una palabra completa, según el idioma y el contexto), este tamaño equilibra entre incluir tablas completas y mantener el rendimiento del modelo.

²⁰ Usando formato JSON, que organiza datos de forma clara y fácil de leer tanto para humanos como para distintos programas, aplicaciones o plataformas.

²¹ Se utilizó el modelo *gpt-4o-mini* de OpenAI

²² En caso de no encontrarse fuente se deja en blanco. En caso de no encontrarse 'indicador cumplimiento' y 'control seguimiento' el LLM ocupa 'No especificado'. Además, por construcción no todos los atributos son admisibles en todos los considerandos: en el ejemplo, para el considerando de 'condiciones o exigencias' no está el atributo de 'forma cumplimiento'.

Cuadro 1: Extracto del Resultado Intermedio obtenido para la RCA “Actualización Proyecto La Cruz Solar”

Consi-derando	Sub consi-deran-do	Normas	Indi-cador Cumpli-miento	Control Cumpli-miento	Forma Cum-plimiento	Objetivo, Des-crip. y Justifi-cación
Forma de cumpli-miento	7.1.13	Norma: Reso-lución Exenta No 610/1982 de la Superin-tendencia de Electricidad y Combustibles, Prohíbe el uso de ...	Registro de cada equipo eléctrico que acredite el no uso de las men-cionadas sustancias.	Verificación de que se cuente con los documen-tos antes indicados.	El Proyecto dará estricto cum-plimiento a esta Resolución, no contemplando en sus equipos el uso de las sustancias citadas.	
Forma de cumpli-miento	7.2.1	Norma: Ley No 17.288/1970, del Ministerio de Educa-ción, Ley de Monumentos Nacionales. Otros cuerpos legales: Decreto Supremo No 484/1990 ...	Registro que evidencie el aviso a la autoridad de hallazgos arqueoló-gicos (en el caso que correspon-da).	Verificación de que se cuenta con los registros antes indica-dos.	Ante el hallazgo de materiales arqueológicos, antropológicos o paleontológicos, con ocasión de cualquier movi-miento de tierra del Proyecto, se paralizarán com-pletamente ...	
Condi-ciones o exigencias	8.1		No especifi-cado	No especifi-cado		El titular deberá tramitar secto-rialmente el PAS No 160 ante el SAG, y corregir la diferencia de 0,025 hectáreas ...
Condi-ciones o exigencias	8.2		No especifi-cado	No especifi-cado		El titular será el que determine y efectúe las labores de rescate, trans-porte, rehabilita-ción de fauna ...
Condi-ciones o exigencias	8.3		No especifi-cado	No especifi-cado		Respecto a la tra-mitación sectorial del PAS No 160, el titular deberá acoger ...

Compromi- sos volunta- rios	9.1		Registros de envío de información a la muni- cipalidad y registros de difusión radial.	No aplica.		Objetivo: Alinearse con la 'Estrategia Regional de De- sarrollo de Región de Antofagasta', relacionada con priorizar la contra- tación de mano de obra local .
-----------------------------------	-----	--	---	------------	--	--

Fuente: Elaboración Propia

Etapa II: Identificación y caracterización de obligaciones

Con los datos estructurados, comienza la etapa de interpretación, cuyo objetivo es identificar y clasificar las obligaciones ambientales.

A diferencia de la etapa anterior, centrada en una extracción literal, esta es inherentemente interpretativa: el LLM no solo extrae, sino que categoriza obligaciones siguiendo instrucciones y ejemplos definidos por especialistas.

Para lograr buenos resultado fue fundamental la iteración entre los expertos y el modelo hasta alcanzar instrucciones y ejemplos adecuados. El modelo complementa el juicio experto, aporta escalabilidad y consistencia, mientras que el experto se ve liberado de una tarea esencialmente repetitiva.

Estos resultados son significativamente superiores a los que se podrían obtener mediante una revisión manual de los resultados, puesto que permite un tratamiento homogéneo a gran escala que no se podrían obtener sólo con expertos humanos, los cuales son afectados por sesgos, cansancio, criterios disímiles, etc.

Asimismo, estos resultados son superiores a los que podría obtener un LLM sin una correcta guía y contextualización de su tarea por parte de un experto. La participación de estos es crucial para definir instrucciones, variables, categorías y ejemplos necesarios para asegurar que las interpretaciones de la IA aporten valor al ejercicio.

El procedimiento contempla las siguientes fases:

1. Identificación y caracterización: A partir de instrucciones y ejemplos diferenciados según el considerando, se delimitan las obligaciones. Para los considerandos de *permisos ambientales sectoriales* y de *planes de contingencias y emergencias* se establece por construcción que cada registro —cada subconsiderando— genere solo una obligación; mientras que en los demás considerandos puede haber más de una obligación por cada subconsiderando.
2. Depuración y normalización: Utilizando LLMs se ejecutan otros procesos adicionales para lograr distintos objetivos:

- a Registros inválidos: Se descartan entradas incompletas o erróneas.
- b Registros duplicados: Se eliminan registros duplicados o que semánticamente sean excesivamente similares.
- c Número de PAS: Se valida que corresponda al rango del número del artículo respectivo del reglamento del SEIA (111–161). Los casos fuera del rango se corrigen contrastando el contenido del registro con las definiciones normativas.
- d Condiciones PAS: Se comparan las condiciones extraídas con las definidas en el decreto respectivo, estableciendo que no se esté reiterando el requisito previsto en el decreto.
- e Contingencias y emergencias: Cada obligación de este considerando se clasifica en tipologías de riesgo (“Riesgos operacionales”, “Riesgos naturales”, “Riesgos antrópicos”, etc.).
- f Fuentes normativas: Se unifica el formato de referencias normativas, eliminando variaciones como “19.300/1994”, “1930094” o “LEY 19300 / 1994”.

Siguiendo con el ejemplo, el Cuadro 2 muestra el resultado final.²³

²³

Se mantuvieron 2 variables de texto libre: (a) Justificación: Extracto de texto del cuál proviene la obligación copiado de la RCA; (b) Resumen: Resumen generado por el LLM a partir de toda la información relevante de la obligación

Cuadro 2: Extracto del Resultado Final obtenido para la RCA "Actualización Proyecto La Cruz Solar"

Consi-deran-do	Sub con-side-rando	Fases	Fuentes	Compo-nente	Justificación	Resumen
Forma de cumpli-miento	7.1.13	opera-ción	resolución 610/1982	electri-cidad y combusti-bles	Registro de cada equipo eléctrico que acredite el no uso de las menciona-das sustancias y verifica-ción de que se cuente con los documentos...	Registrar cada equipo eléctrico que acredite el no uso de Bifenilos Policlorurados (PCB) y verificar que se cuente con los documentos...
Forma de cumpli-miento	7.2.1	cons-trucción	Ley 17.288, DS 484/1990	patri-monio cultural y arqueoló-gico	Verificación de que se cuenta con los registros antes indicados.	Verificar que se cuenta con los registros indi-cados. ...
Forma de cumpli-miento	7.2.1	cons-trucción	Ley 17.288, DS 484/1990	patri-monio cultural y arqueoló-gico	Registro de aviso a la autoridad sobre hallazgos arqueológicos. Verificar que se cuenta con los registros indicados.	Registro que evidencie el aviso a la autoridad de hallazgos arqueológicos (en el caso que corres-ponda).
Forma de cumpli-miento	7.2.1	cons-trucción	Ley 17.288, DS 484/1990	patri-monio cultural y arqueoló-gico	Paralizar las obras y notificar al Gobernador Provincial y al Consejo de Monumentos Nacionales ante el hallazgo ...	Ante el hallazgo de ma-teriales arqueológicos, se paralizarán las obras asociadas y se informará al Gobernador Provincial y ...
Condi-ciones o exigencias	8.1	previo a la cons-trucción	decisión de autori-dad	uso de suelos / urbanismo / vialidad	El titular deberá tramitar sectorialmente el PAS No 160 ...	Cumplir con la trami-tación sectorial del PAS No 160 ante el SAG ...
Condi-ciones o exigencias	8.2	opera-ción	decisión de autori-dad	fauna	El titular será el que determine y efectúe las labores de rescate, transporte, rehabilitación de fauna y reporte de las actividades...	Realizar rescate, trans-porte y rehabilitación de fauna y reportar activi-dades de contingencias a la SMA.
Condi-ciones o exigencias	8.3	previo a la cons-trucción, opera-ción	decisión de autori-dad	social y laboral	Respecto a la tramitación sectorial del PAS No 160, el titular deberá acoger	Cumplir con la trami-tación sectorial del PAS No 160 y acoger todas las observaciones señaladas por la SEREMI de Vivien-da y Urbanismo...
Compromisos voluntarios	9.1	previo a la cons-trucción, opera-ción	com-promiso ambiental voluntario	social y laboral	Lugar: Comuna de María Elena. Forma: A través de envío de vacantes disponi-bles y de los perfiles, a través de la municipali-dad. Adicionalmente, ...	Contratar mano de obra local a través de la mu-nicipalidad y medios de comunicación. Priorizar la contratación de mano de obra local...

Fuente: Elaboración Propia

1001001001000110101101000110010001001000110

1001001001000110101101000110010001001000110

1001001001000110101101000110010001001000110

Capítulo 4





Validación²⁴

La fiabilidad de los resultados fue un pilar fundamental del estudio. Se diseñó un protocolo riguroso que combina criterios estadísticos, revisión experta y buenas prácticas internacionales con el fin de asegurar que las conclusiones obtenidas sean confiables, trazables y transparentes. A continuación, se describen los principales componentes del proceso:

- Validación Out-of-Sample: El modelo fue entrenado con un conjunto de datos (RCAs de minería) y validado con un conjunto completamente nuevo y no visto previamente por el modelo (RCAs de energía), para asegurar su capacidad de generalización y evitar el sobreajuste (*overfitting*).
- Muestra estadísticamente significativa y estratificada: La validación se realizó sobre una muestra de 73 RCAs seleccionadas mediante muestreo aleatorio estratificado, considerando variables clave como la vía de ingreso al SEIA (DIA o EIA) y el formato del documento (digital o escaneado). Se calcula un tamaño mínimo requerido para obtener una muestra estadísticamente significativa con un 95 % de confianza y un error de 0,05, siendo ésta de 384 obligaciones. Esta estrategia aseguró la representatividad de la muestra y permitió superar el umbral mínimo requerido para obtener estimaciones estadísticamente confiables.
- Revisión manual experta (ground truth):²⁵ Sobre esta muestra, se construyó un conjunto de referencia mediante la revisión, por parte de abogados, de más de 500 obligaciones, repartidas entre las 73 RCAs seleccionadas. Cada obligación fue evaluada por al menos dos expertos de forma independiente, y en caso de discrepancia, se incorporó un tercer revisor. Este proceso permitió construir una base de datos que sirvió como pilar confiable y objetivo para medir el desempeño del modelo de IA.
- Métricas de desempeño estándar: Se utilizaron indicadores ampliamente reconocidos en el campo de la IA y el *machine learning*:
 - Precision: 95,5 % [0,939; 0,973] — corresponde al porcentaje de obligaciones detectadas por la IA que efectivamente estaban presentes en los

²⁴

El contenido de este capítulo se desarrolla en detalle en el Anexo 2

²⁵

Se refiere a la información o datos que se consideran la verdad absoluta y objetiva en un contexto particular. Es el dato de referencia, la realidad indiscutible, que se usa para verificar, validar o comparar otros datos, modelos o resultados

textos. En la práctica, esto significa que de cada 100 obligaciones que la IA identificó, 95 eran correctas y solo 5 fueron falsos positivos. La *precision* reportada se encuentra dentro del rango superior observado en estudios comparables.²⁶

- Recall: 90,3% [0,878; 0,927]—corresponde al porcentaje de obligaciones reales que fueron correctamente identificadas por la IA. Es decir, de cada 100 obligaciones efectivamente existentes en los documentos, la IA logró encontrar 90, mientras que 10 no fueron detectadas (falsos negativos). Estos valores se sitúan dentro de los rangos reportados en la literatura para tareas de extracción de textos no estructurados.²⁷

Además de validar la capacidad de extracción, se evaluó la clasificación realizada por el modelo sobre las obligaciones detectadas. Esto incluyó variables como tipo de obligación, componente ambiental, fase del proyecto y fuente de la obligación, entre otras. Los resultados mostraron altos niveles de coincidencia con la clasificación humana, incluso bajo un enfoque metodológico conservador, lo que refuerza la utilidad del modelo como herramienta analítica. Los resultados de la validación de la clasificación de las obligaciones se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3: Resumen de Resultados de Validación de la Clasificación

Variable	Indicador	Resultado %	Muestra (n)	Intervalo de Confianza
Componente ambiental	Accuracy	83,5	370	[0,797 ; 0,873]
	Weighted accuracy	95,0		[0,927 ; 0,972]
Tipo	Accuracy	83,5	376	[0,798 ; 0,873]
Orden	Accuracy	82,2	377	[0,784 ; 0,873]
Establece condición	Accuracy	88,5	61	[0,805 ; 0,965]
Fase	Recall	93,9	724	[0,922 ; 0,957]
	Precision	95,5	710	[0,940 ; 0,970]
Fuente	Recall	90,6	405	[0,878 ; 0,935]
	Precision	89,1	367	[0,859 ; 0,923]
Número de fuente	Recall	90,1	191	[0,858 ; 0,943]
	Precision	85,5	179	[0,803 ; 0,906]

Fuente: Elaboración Propia

²⁶ Para ambas métricas ver Zhang and El-Gohary (2016), Zhang and El-Gohary (2017), Li et al. (2024), Wornow et al. (2025) y Martin et al. (2024).
²⁷ ídem.

En conjunto, este proceso garantiza que el modelo desarrollado no solo funciona bien en teoría, sino que ha sido empíricamente validado con criterios estrictos. La transparencia y robustez de esta evaluación otorgan confianza en los resultados obtenidos y refuerzan la posibilidad de aplicar herramientas similares en otros contextos regulatorios.



Capítulo 5



Resultados

Los resultados que se presentan a continuación buscan ofrecer una primera caracterización empírica de la carga regulatoria ambiental en sectores estratégicos de la economía nacional. Más allá de las cifras, el interés central es mostrar cómo la información contenida en las RCAs puede organizarse, compararse y convertirse en insumo para la discusión de política pública.

El análisis no se limita a contabilizar obligaciones: indaga en su origen normativo, su evolución en el tiempo, su distribución según sector e instrumento de ingreso, y la manera en que se despliegan a lo largo del ciclo de vida de los proyectos. Esta mirada permite pasar de una noción intuitiva —que la regulación ambiental es extensa y heterogénea— a una visión estructurada y verificable, donde se distinguen patrones, tendencias y puntos de mejora.

Lo que sigue se organiza como una secuencia de hallazgos que ilustran distintos ángulos de la carga regulatoria, con el fin de facilitar su lectura y conectar la evidencia con posibles implicancias de política pública.

La información se presenta en 3 ejes:

- Intensidad
- Origen
- Características

La base de datos completa, organizada en un dashboard que permite visualizar la información obtenida y cruzar las diferentes variables identificadas, se encuentra disponible en el siguiente link: www.cnep.cl

Intensidad de la carga regulatoria ambiental

Hallazgo 1 En los últimos años la carga regulatoria ha ido en aumento de manera transversal.

El principal resultado del estudio es respecto al volumen de la carga regulatoria ambiental contenida en las RCAs, que para los sectores estudiados suma un total 220.747 obligaciones fiscalizables. Al estudiar su evolución a lo largo de la década, la Figura 4 muestra una pendiente clara: más obligaciones por RCA a lo largo del tiempo.

Figura 4: Promedio de obligaciones por RCA

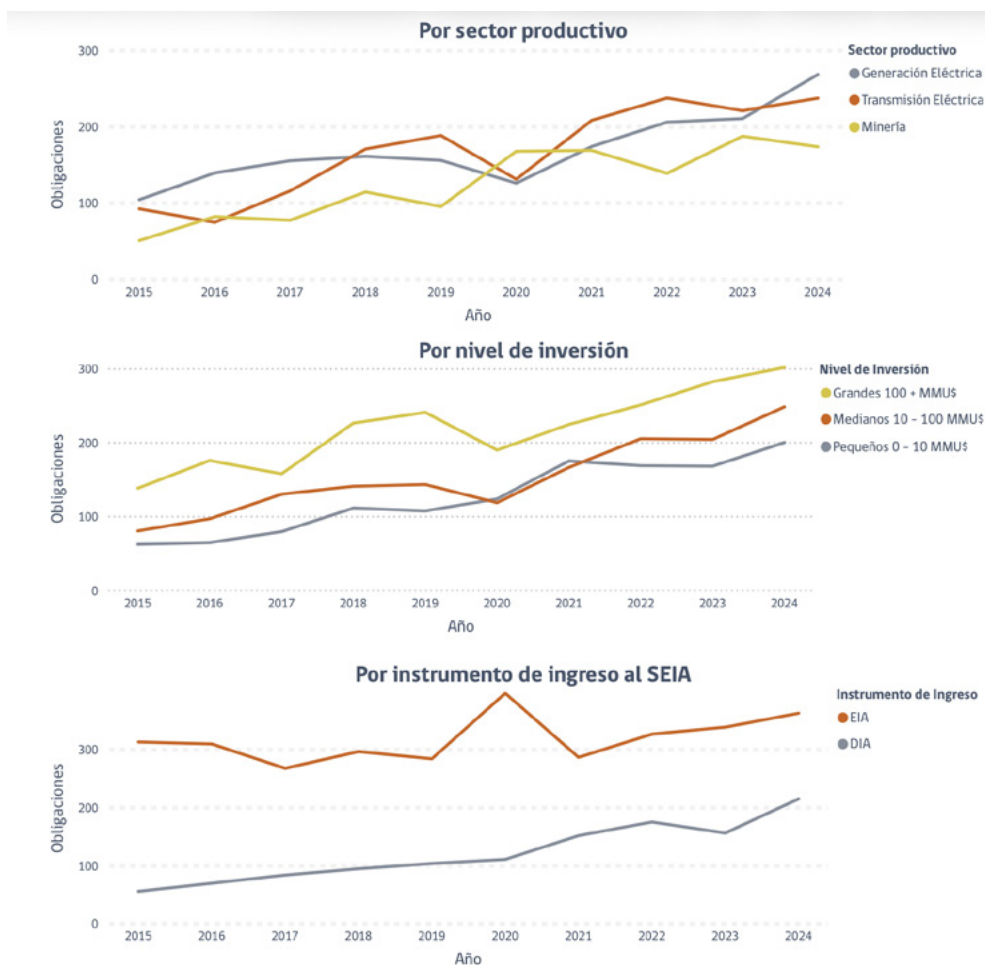


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 5 agrega un matiz relevante: este fenómeno de intensificación regulatoria es transversal a distintos sectores, niveles de inversión, e instrumentos de ingreso al SEIA. En línea con lo esperado, proyectos de mayor inversión tienen en promedio una mayor carga regulatoria ambiental, y proyectos cuyo instrumento de ingreso es un EIA tienen mayor carga que aquellos cuyo instrumento de ingreso es una DIA.

Esta tendencia alcanza incluso a proyectos pequeños (0-10 MM USD), que hoy encaran un nivel de exigencia comparable al de grandes proyectos de 2015.

Figura 5: Promedio de obligaciones por RCA

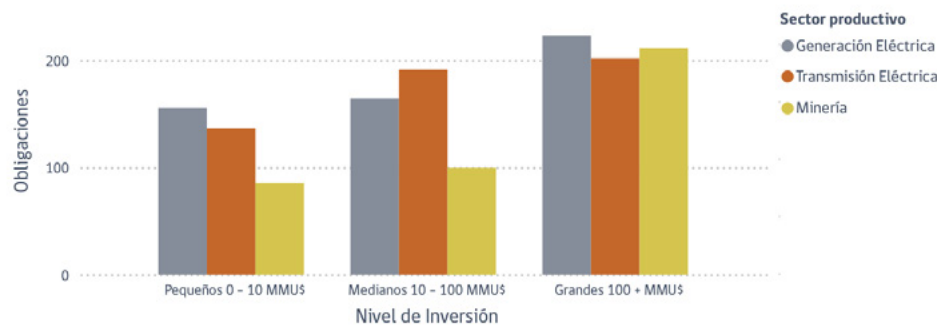


Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 2 Existen importantes diferencias en la carga regulatoria de distintos proyectos, dependiendo de su sector productivo, instrumento de origen, monto de inversión y tiempo de tramitación.

El análisis sectorial revela que, para un mismo nivel de inversión, los proyectos de generación y transmisión eléctrica presentan una carga regulatoria mayor en comparación con los proyectos mineros. La Figura 6 muestra que tal brecha tiende a desaparecer cuando se trata de grandes proyectos.

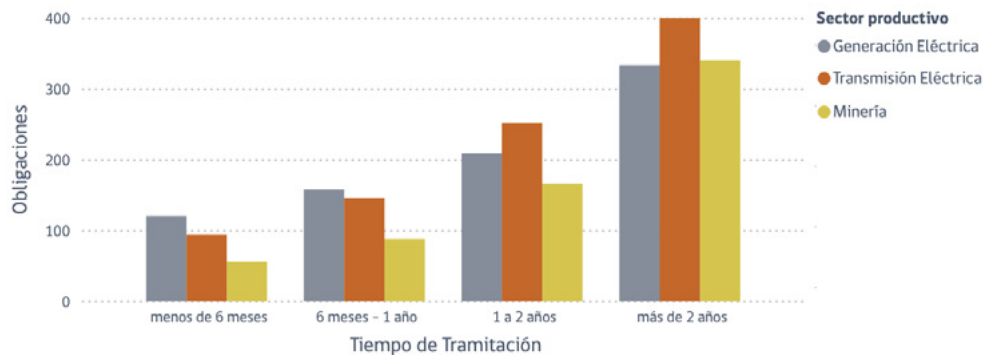
Figura 6: Relación entre carga regulatoria, nivel de inversión y sector productivo



Fuente: Elaboración Propia

La tendencia es similar con el tiempo de tramitación. A mayor tiempo de tramitación, mayor es el número de obligaciones. Al igual que con la inversión, la Figura 7 muestra como la brecha entre energía y minería se reduce en procesos extensos.

Figura 7: Relación entre carga regulatoria, tiempo de tramitación y sector productivo

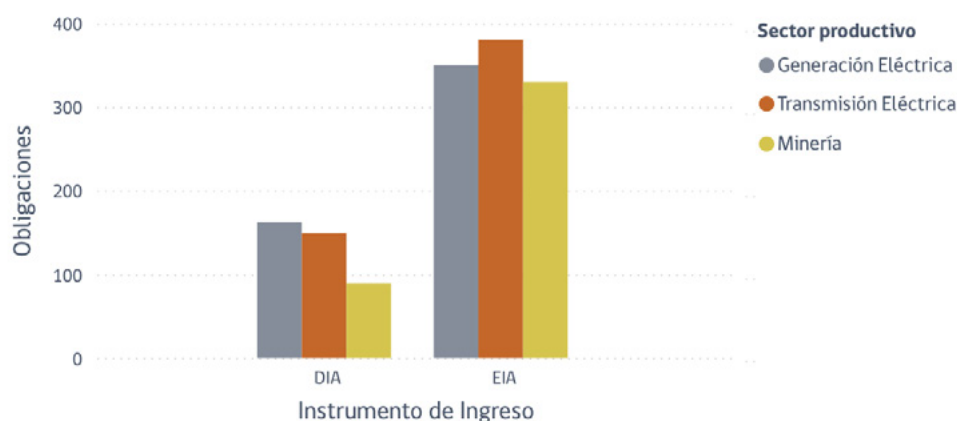


Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, el instrumento de origen a la evaluación ambiental también es decisivo: las RCAs que se originan a partir de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) generan casi 2,5 veces más obligaciones que aquellas derivadas de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) (Figura8). Esto no implica exceso *per se*, sino que el diseño de los EIAs, al hacerse cargo de mayores impactos ambientales, se traduce en un mayor número de obligaciones.

Si bien esta diferencia es esperable dada la distinta naturaleza y escala de los proyectos, la cuantificación precisa de esta brecha confirma la coherencia interna del sistema de evaluación y proporciona una métrica para futuros análisis comparativos.

Figura 8: Promedio de obligaciones por RCA, según instrumento de ingreso y sector productivo



Fuente: Elaboración Propia

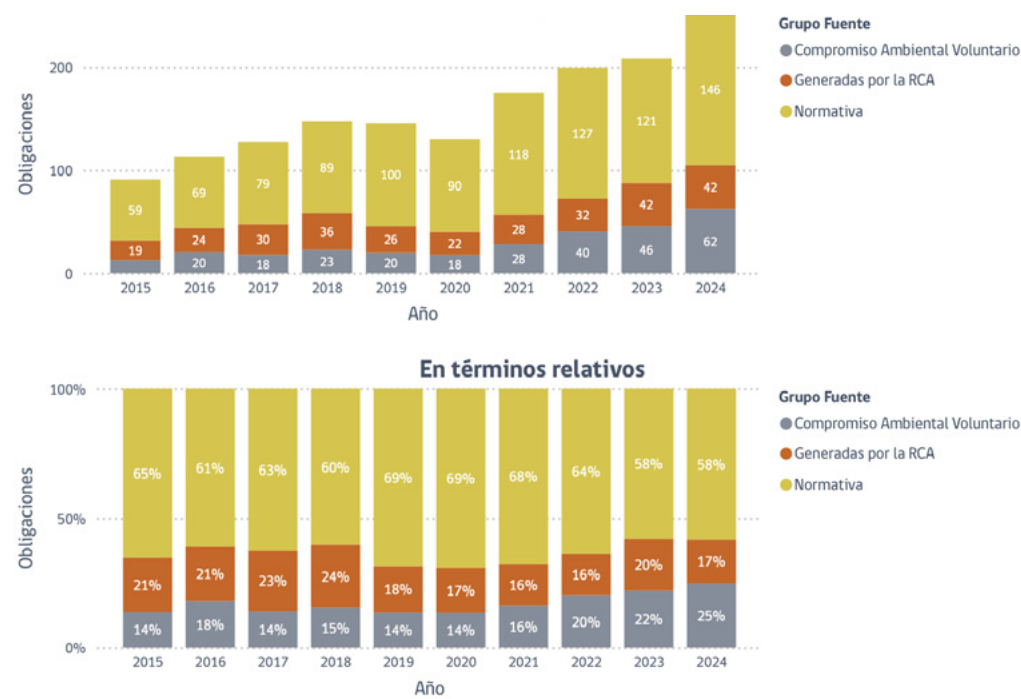
Origen de la carga regulatoria ambiental

Hallazgo 3 Tres de cada cinco obligaciones tienen fuente normativa explícita.

En promedio, 63 % de las obligaciones remiten a normas legales y reglamentarias determinadas y 37 % no señala expresamente una normativa asociada (Figura 9). Ello podría implicar que cuando la RCA aplica normas generales al caso concreto, las obligaciones generadas sean más homogéneas. Por el contrario, cuando se imponen obligaciones que no surgen de una regulación determinada, en principio esta debiera tender a crear obligaciones más heterogéneas.

El peso relativo de los compromisos ambientales voluntarios en relación al resto de las obligaciones, aumenta en el tiempo.

Figura 9: Trazabilidad de Fuentes, según año de calificación



Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 4 146 leyes y reglamentos componen el inventario de normativas ambientales.

En total, 146 normativas son mencionadas 175.463 veces, alcanzando el 94,1 % del total de referencias,²⁸ por lo que constituyen un inventario de la regulación de tipo ambiental aplicable en la práctica a proyectos en desarrollo de los sectores minero y energético. A continuación, en el Cuadro 4 se presentan las normativas más relevantes en función de su importancia en relación a las siguientes variables

1. Porcentaje del total de obligaciones con mención explícita a normativa: Bajo este criterio, destaca el Reglamento de Condiciones Sanitarias y Ambientales en el Trabajo (DS 594/1999), que está en el 12,8 % del total de obligaciones. Le siguen en orden de importancia el Código Sanitario (DFL 725/1967), con 10,6 % de las obligaciones, y la

²⁸ Este porcentaje incluye los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS). Sin embargo, estos no están considerados en el análisis, ya que se abordarán de forma independiente más adelante.

Norma para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos (DS 144/1961), presente en el 6,4 % de las obligaciones.

2. Porcentaje del total de RCAs que referencian cada normativa: Considerando que una normativa puede ser mencionada múltiples veces dentro de una misma RCA, aquellas normativas presentes en un mayor porcentaje de proyectos no necesariamente coinciden con las que se registran en mayor número de obligaciones. La Ley de Monumentos Nacionales (Ley 17.288) lidera con presencia en el 94,5 % de las RCAs analizadas, seguida por el Reglamento de Condiciones Sanitarias y Ambientales en el Trabajo (DS 594/1999) con 93,5 % de las RCAs, y la Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes Fijas (DS 38/2011), referenciada en el 92,4 % de los proyectos estudiados.

3. Porcentaje del total de la inversión de las RCAs que referencian cada normativa: Dado que los proyectos presentan montos de inversión heterogéneos, resulta relevante examinar qué normativas son mencionadas en las RCAs que concentran mayor proporción del capital total invertido. Bajo esta perspectiva, el Código Sanitario (DFL 725/1967) encabeza la lista con presencia en proyectos que representan el 93,6 % de la inversión total, seguido por la Ley de Monumentos Nacionales (Ley 17.288) con 93,2 % de la inversión, y el Reglamento de Condiciones Sanitarias y Ambientales en el Trabajo (DS 594/1999) con 89,9 % de la inversión asociada.

Cuadro 4: Ranking de normativas más mencionadas

Tipo	Número	Norma	Ministerio	% Oblig.	% RCAs	% Inversión	Caracteres
DFL	725/1967	CODIGO SANITARIO	Salud	10,6	91,8	93,6	156.623
Ley	17.288	LEGISLA SOBRE MONUMENTOS NACIONALES; MODIFICA LAS LEYES DEROGA EL DECRETO LEY 651, DE 17 DE OCTUBRE DE 1925	Educación	5,9	94,5	93,2	29.436
DS	594/1999	APRUEBA REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BASICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO	Salud	12,8	93,5	89,9	92.515
DS	144/1961	ESTABLECE NORMAS PARA EVITAR EMANACIONES O CONTAMINANTES ATMOSFERICOS DE CUALQUIERA NATURALEZA	Salud	6,4	92,2	89,4	4.604
DS	38/2011	ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN DE RUIDOS GENERADOS POR FUENTES QUE INDICA, ELABORADA A PARTIR DE LA REVISIÓN DEL DECRETO Nº 146, DE 1997, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA	Medio Ambiente	4,3	92,4	88,3	19.676
DS	148/2003	APRUEBA REGLAMENTO SANITARIO SOBRE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS	Salud	5,7	86,2	76,1	152.788
DS	484/1990	REGLAMENTO DE LA LEY Nº 17.288, SOBRE EXCAVACIONES Y/O PROSPECCIONES ARQUEOLÓGICAS, ANTROPOLOGICAS Y PALEONTOLOGICAS	Educación	4,0	75,9	75,6	11.620
DS	43/2015	APRUEBA EL REGLAMENTO DE ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS	Salud	3,1	60,6	69,5	131.511
DS	1/2013	APRUEBA REGLAMENTO DEL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIAS DE CONTAMINANTES, RETC	Medio Ambiente	4,9	73,9	68,2	35.014
DS	138/2005	ESTABLECE OBLIGACION DE DECLARAR EMISIONES QUE INDICA	Salud	2,6	68,2	67,6	3.209
DS	47/1992	FIJA NUEVO TEXTO DE LA ORDENANZA GENERAL DE LA LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES	Vivienda y Urb.	4,9	64,2	67,5	872.716

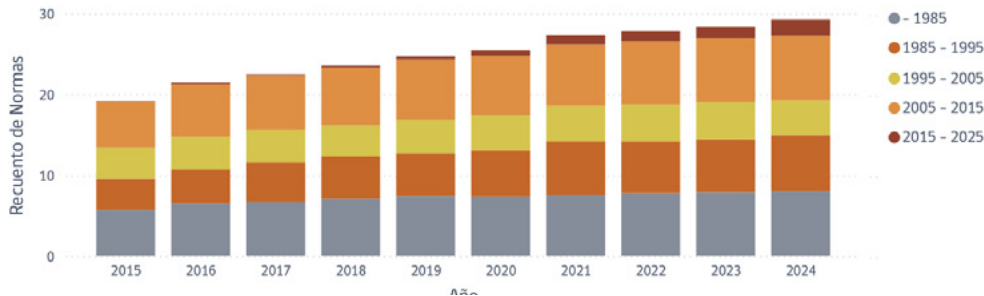
DS	75/1987	ESTABLECE CONDICIONES PARA EL TRANSPORTE DE CARGAS QUE INDICA	Transportes y Telec.	4,1	72,2	66,3	3.529
Ley	19.473	SUSTITUYE TEXTO DE LA LEY Nº 4.601, SOBRE CAZA, Y ARTICULO 609 DEL CODIGO CIVIL	Agricultura	2,8	56,4	64,0	30.572
Ley	19.300	APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE	Medio Ambiente	6,3	65,0	63,4	119.048
DS	4/1994	ESTABLECE NORMAS DE EMISION DE CONTAMINANTES APLICABLES A LOS VEHICULOS MOTORIZADOS Y FIJA LOS PROCEDIMIENTOS PARA SU CONTROL	Transportes y Telec.	3,0	63,9	62,3	16.093
DS	160/2008	REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA LAS INSTALACIONES Y OPERACIONES DE PRODUCCIÓN Y REFINACIÓN, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS	Economía	2,1	48,7	62,0	172.405
DS	5/1998	APRUEBA REGLAMENTO DE LA LEY DE CAZA	Agricultura	2,3	51,5	54,1	73.874
DS	458/1975	APRUEBA NUEVA LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES	Vivienda y Urb.	2,2	50,8	51,9	259.623
DS	55/1994	ESTABLECE NORMAS DE EMISION APLICABLES A VEHICULOS MOTORIZADOS PESADOS QUE INDICA	Transportes y Telec.	1,9	49,6	39,3	24.952
Ley	20.920	ESTABLECE MARCO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE	Medio Ambiente	2,3	40,6	30,0	53.715

Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 5 Aplicación más intensiva de normas pre 2015.

Analizando las normativas mencionadas en las obligaciones, un hallazgo es que la mayor carga regulatoria se ha producido por una intensificación de la aplicación del *stock* regulatorio, no a propósito de su aumento por nuevas normas promulgadas durante el periodo estudiado. Sólo un 3,6 % de las menciones corresponden a normativa dictada con posterioridad a 2015 (Figura 10). No obstante, muchas de las normas anteriores han sido modificadas durante el período analizado.

Figura 10: Promedio de normas mencionadas por RCA, según año de calificación y década de promulgación



Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 6 Orientación de las normativas hacia componentes ambientales específicos.

Las normativas analizadas muestran una clara orientación hacia componentes ambientales específicos, lo que coincide con lo esperado. Como se detalla en el Cuadro 5, se identifican las siguientes asociaciones principales,²⁹ entre las obligaciones con fuente en las siguientes normativas:

- El Código Sanitario (DFL 725/1967) y el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales en el Trabajo (DS 594/1999) se vinculan mayoritariamente al manejo de residuos, sustancias peligrosas y aguas.
- El Reglamento RETC (DS 1/2013), el Reglamento RESPEL (DS 148/2003) y el Reglamento de Seguridad de Combustibles Líquidos (DS 160/2008) se asocian de forma predominante a obligaciones relativas al manejo de residuos y sustancias peligrosas, y en menor medida a emisiones.
- La Ley General de Urbanismo y Construcciones (DFL 458/1975), su Ordenanza General (DS 47/1992) y el Reglamento de Transporte de Carga (DS 75/1987) se relacionan principalmente terreno, vialidad y entorno; y emisiones
- Los decretos sobre contaminantes atmosféricos (DS 144/1961), declaración de emisiones (DS 138/2005) y las normas de emisión para vehículos (DS 54/1994 y DS 55/1994) se mencionan casi exclusivamente en obligaciones del componente de emisiones.
- La Norma de Emisión de Ruidos (DS 38/2011) se especializa en dicho compo-

²⁹ Se omite el componente ambiental "otros"

nente.

- La Ley de Monumentos Nacionales (Ley 17.288) y su reglamento (DS 484/1990) se enfocan en el patrimonio cultural y arqueológico,
- La Ley de Caza (Ley 19.473) y su respectivo reglamento (DS 5/1998) se enfocan en flora y fauna.
- La Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300) exhibe un carácter transversal, con una influencia distribuida en múltiples componentes.

Cuadro 5: Distribución porcentual de menciones a normativa ambiental según el componente ambiental asociado

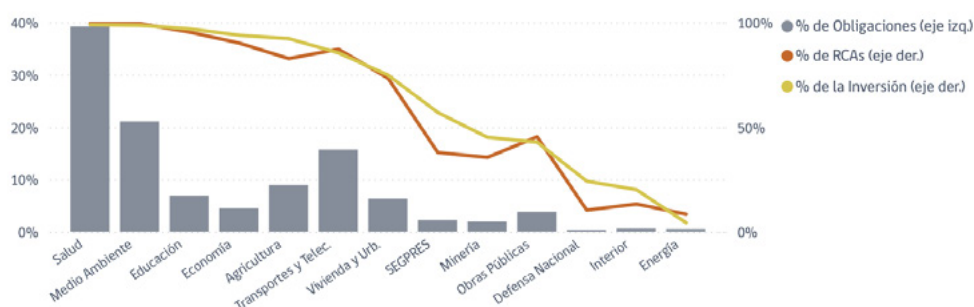
Componentes	aguas	emisiones	energía	flora y fauna	patr. cultural y arq.	residuos y sust. pelig.	ruidos	social y laboral	terreno, viabilidad entorno
LGUC	0 %	8 %	0 %	0 %	1 %	8 %	0 %	0 %	81 %
Código Sanitario	24 %	3 %	0 %	0 %	0 %	70 %	1 %	1 %	0 %
Reglamento RETC	3 %	28 %	1 %	0 %	0 %	57 %	1 %	1 %	7 %
Decreto de Obligación de Declarar Emisiones	1 %	80 %	0 %	0 %	0 %	19 %	0 %	0 %	0 %
Norma para Evitar Contaminantes Atmosféricos	0 %	93 %	0 %	0 %	0 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Reglamento Sanitario Manejo de RESPELS	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	98 %	0 %	0 %	0 %
Reglamento de Seguridad para Combustibles Líquidos	0 %	2 %	15 %	0 %	0 %	79 %	0 %	0 %	1 %
Norma de Emisión de Ruidos	1 %	5 %	0 %	0 %	0 %	3 %	90 %	0 %	0 %
Norma de Emisión para Vehículos Motorizados	5 %	61 %	14 %	0 %	0 %	17 %	0 %	0 %	2 %
Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas	1 %	16 %	0 %	0 %	0 %	81 %	0 %	0 %	0 %
OGUC	1 %	62 %	0 %	0 %	0 %	5 %	8 %	0 %	24 %
Reglamento de Excavaciones y Prospecciones Arqueológicas	1 %	1 %	0 %	1 %	95 %	1 %	0 %	0 %	0 %
Reglamento de la Ley de Caza	0 %	1 %	0 %	95 %	1 %	2 %	0 %	0 %	0 %
Norma de Emisión para Vehículos Motorizados Medianos	1 %	81 %	0 %	1 %	0 %	16 %	0 %	0 %	2 %
Norma de Emisión para Vehículos Motorizados Pesados	0 %	79 %	1 %	1 %	0 %	18 %	0 %	0 %	2 %
Reglamento sobre Condiciones en Lugares de Trabajo	27 %	1 %	0 %	0 %	0 %	64 %	3 %	3 %	0 %
Condiciones para el transporte de cargas	2 %	55 %	0 %	0 %	0 %	13 %	1 %	1 %	27 %
Ley de Monumentos Nacionales	1 %	2 %	0 %	2 %	91 %	2 %	0 %	0 %	1 %
Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente	8 %	27 %	1 %	3 %	1 %	38 %	5 %	6 %	8 %
Modificación Ley de Caza	1 %	2 %	0 %	92 %	1 %	3 %	0 %	0 %	1 %

Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 7 Predominio del Ministerio de Salud y del Ministerio del Medio Ambiente.

Un nivel adicional de análisis se centra en el ministerio de origen de cada normativa mencionada: MINSAL y MMA concentran 60 % de las obligaciones con fuente identificada (Figura 11), y están presentes en la gran mayoría de las RCAs. Este patrón es consistente con los componentes predominantes: residuos y sustancias peligrosas, y emisiones (Figura 18 y Figura 19).

Figura 11: Principales ministerios asociados a las normativas mencionadas

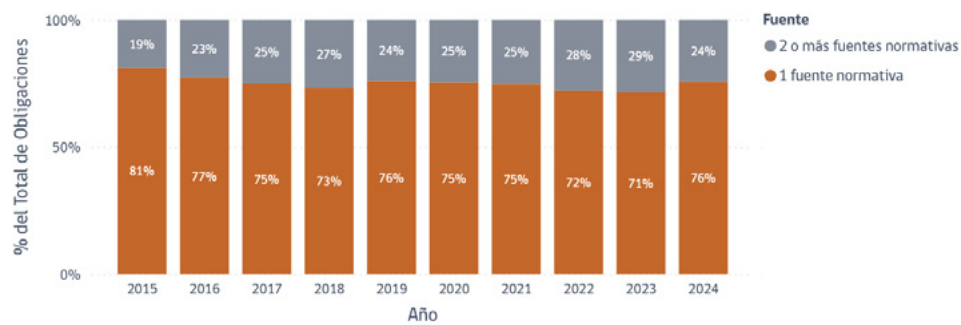


Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 8 Una proporción significativa de obligaciones menciona múltiples fuentes normativas.

La mayoría de las obligaciones con sustento normativo explícito mencionan únicamente una normativa, sin embargo, existe una minoría que referencia dos o más fuentes, como se ilustra en la Figura 12.

Figura 12: Número de fuentes de las obligaciones con sustento explícito, según año de calificación



Fuente: Elaboración Propia

Un análisis de las fuentes citadas en estas obligaciones que referencian más de una fuente normativa revela interesantes relaciones. El Cuadro 6 muestra los pares de normativas que se mencionan conjuntamente con mayor frecuencia, que en total representan un 46 % de los pares.³⁰

³⁰ Por ejemplo: en un 86,2 % de las menciones al Reglamento de Excavaciones y Prospecciones Arqueológica se menciona también a la Ley de Monumentos Nacionales, mientras que por el otro lado, en el 58,7 % de las menciones a dicha ley se menciona el Reglamento de Excavaciones y Prospecciones Arqueológica. El promedio entre estos dos valores es 72,4 %.

Cuadro 6: Principales relaciones entre normas identificadas

Normativa 1	Normativa 2	% del total de pares	% del total de men- ciones de normativa 1	% del total de men- ciones de normativa 2	% del total de men- ciones promedio
Reglamento de Excavaciones y Prospecciones Arqueológicas	Ley de Monumentos Nacionales	12,0 %	86,2 %	58,7 %	72,4 %
Reglamento de la Ley de Caza	Ley de Caza	3,8 %	47,3 %	39,8 %	43,6 %
Reglamento de la Ley de Recuperación del Bosque Nativo	Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal	1,3 %	57,4 %	26,8 %	42,1 %
Código Sanitario	Reglamento sobre Condiciones en Lugares de Trabajo	12,1 %	32,9 %	27,2 %	30,1 %
Reglamento SEIA	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	2,2 %	47,9 %	10,0 %	29,0 %
LGUC	OGUC	2,2 %	29,0 %	13,1 %	21,0 %
Obligación de Declarar Emisiones	Norma para Evitar Contaminantes Atmosféricos	1,3 %	14,8 %	5,9 %	10,3 %
Reglamento sobre Condiciones en Lugares de Trabajo	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	2,6 %	5,9 %	12,1 %	9,0 %
Norma para Evitar Contaminantes Atmosféricos	OGUC	1,4 %	6,4 %	8,5 %	7,5 %
Reglamento Sanitario Manejo RESPEL	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	1,4 %	7,4 %	6,7 %	7,0 %
Código Sanitario	Reglamento Sanitario Manejo RESPEL	1,5 %	4,1 %	7,7 %	5,9 %
OGUC	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	1,0 %	6,2 %	4,8 %	5,5 %
Norma para Evitar Contaminantes Atmosféricos	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	1,0 %	4,5 %	4,6 %	4,5 %
Reglamento Sanitario Manejo RESPEL	Reglamento sobre Condiciones en Lugares de Trabajo	1,2 %	6,3 %	2,8 %	4,5 %
Código Sanitario	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente	1,0 %	2,7 %	4,6 %	3,7 %

Fuente: Elaboración Propia

Destaca el patrón de jerarquía normativa: la relación más fuerte, entre la Ley de Monumentos Nacionales y el Reglamento de Excavaciones y Prospecciones Arqueológicas, ejemplifica la relación esperada entre una ley y su reglamento de implementación. Este patrón se observa consistentemente en otros pares identificados, como la Ley de Caza, la Ley de Recuperación del Bosque Nativo, el Código Sanitario, y sus respectivos reglamentos.

Por otro lado, se observa la transversalidad de la Ley 19.300: la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente presenta un comportamiento distintivo, apareciendo frecuentemente en combinación con diversas normativas. Esta ley se identifica de manera aislada solamente en el 10,9 % de las obligaciones que la citan. Además, del total de las 146 normativas identificadas, un 72,7 % tiene al menos alguna obligación en común con la Ley 19.300, evidenciando su carácter de marco regulatorio ambiental general.

Para visualizar estas relaciones, se construyó una red de co-ocurrencia relativa entre las 146 normas principales, identificando las conexiones más significativas y estructuralmente más importantes.³¹ La Figura 13 ilustra esta red, donde se observa que:

Las normativas del mismo ministerio de origen tienden a formar agrupaciones

Las normativas más mencionadas no están en la periferia de la red, sino que también son de las que tienden a estar más conectadas, incluso en términos relativos a su tamaño

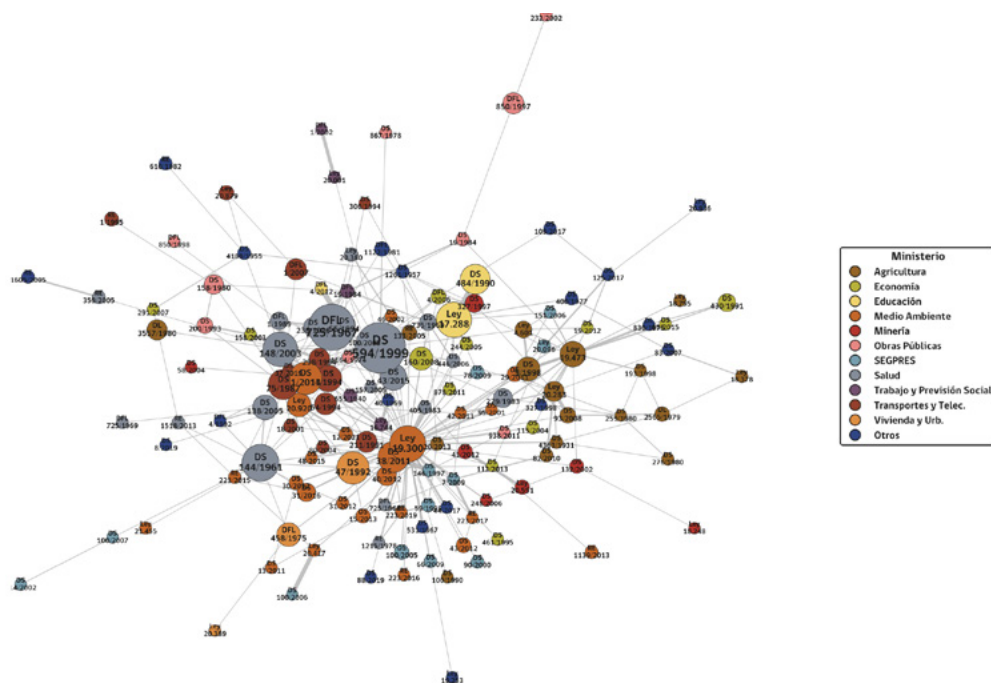
La Ley 19.300 actúa como un nodo central que conecta el sistema completo

Para ver en detalle la red de fuentes normativas se dispone un dashboard interactivo en el siguiente link: www.cnep.cl

³¹

La fuerza de cada conexión se estableció calculando el número de menciones compartidas entre ambas normativas dividido por el total de menciones de cada una por separado, y luego promediando ambos valores. Esto permite reflejar cuánto pesa relativamente la conexión desde la perspectiva de cada normativa involucrada. Posteriormente se filtran las conexiones, manteniendo aquellas cuyo valor se encuentra por encima del percentil 75 y las seleccionadas mediante el *Maximum Spanning Tree Algorithm* que garantiza que todas las normativas permanezcan conectadas, priorizando las relaciones más fuertes.

Figura 13: Red Fuentes Normativas



Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 9 PAS más recurrentes: 140, 142, 160 y 138.

El análisis de los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), revela una alta concentración tanto en el tipo de permiso requerido como en las instituciones competentes (Figura 14 y el Cuadro 7). Los más mencionados están vinculados a la gestión de residuos (arts. 138, 140 y 142 del Reglamento del SEIA), al IFC (art. 160) y a excavaciones arqueológicas (art. 132). En conjunto, estos representan el 64,3 % de los PAS contabilizados en la muestra, y el 50 % del total ponderando por la inversión asociada.

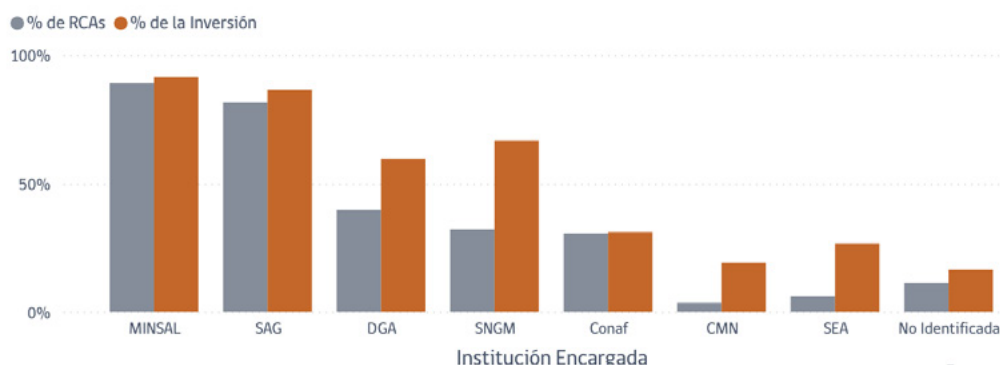
Cuadro 7: Mención de los principales Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) en RCAs y su Institución

N°	Artículo Reglamento SEIA	Institución	% Inversión	% RCAs
140	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.	MINSAL	84 %	83 %
138	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza.	MINSAL	83 %	67 %
160	Permiso para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos.	SAG	83 %	79 %
142	Permiso para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos.	MINSAL	81 %	81 %
132	Permiso para hacer excavaciones de tipo arqueológico, antropológico y paleontológico.	SNGM	58 %	22 %
156	Permiso para efectuar modificaciones de cauce.	DGA	48 %	32 %
146	Permiso para la caza o captura de ejemplares de animales de especies protegidas para fines de investigación, para el establecimiento de centros de reproducción o criaderos y para la utilización sustentable del recurso.	SAG	39 %	26 %
137	Permiso para la aprobación del plan de cierre de una faena minera.	SNGM	34 %	14 %
157	Permiso para efectuar obras de regularización o defensa de cauces naturales.	DGA	33 %	15 %
155	Permiso para la construcción de ciertas obras hidráulicas.	DGA	30 %	7 %
136	Permiso para establecer un botadero de estériles o acumulación de mineral.	SNGM	29 %	10 %
139	Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros.	MINSAL	22 %	4 %
135	Permiso para la construcción y operación de depósitos de relaves.	CMN	19 %	3 %
119	Permiso para realizar pesca de investigación.	SEA	19 %	5 %
151	Permiso para la corta, destrucción o descepado de formaciones xerofíticas.	Conaf	18 %	12 %

Fuente: Elaboración Propia

A nivel institucional, solo tres organismos – MINSAL, SAG y DGA– concentran la competencia sobre el 74 % de los PAS identificados. Al ponderar por inversión, estas instituciones abarcan más del 50 % de los montos asociados, como se ilustra en la Figura 14.

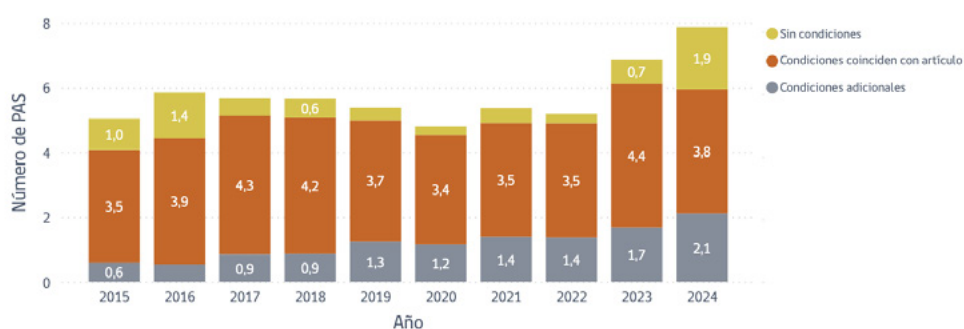
Figura 14: Porcentaje de PAS exigidos, según institución involucrada



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, 22,1 % de los PAS declara imponer condiciones adicionales a los requisitos exigidos por la normativa y, de ellas, 64,8 % repite o parafrasea lo ya exigido por el artículo (Figura 15).

Figura 15: Promedio de PAS por documento a lo largo del tiempo, según las condiciones establecidas



Fuente: Elaboración Propia

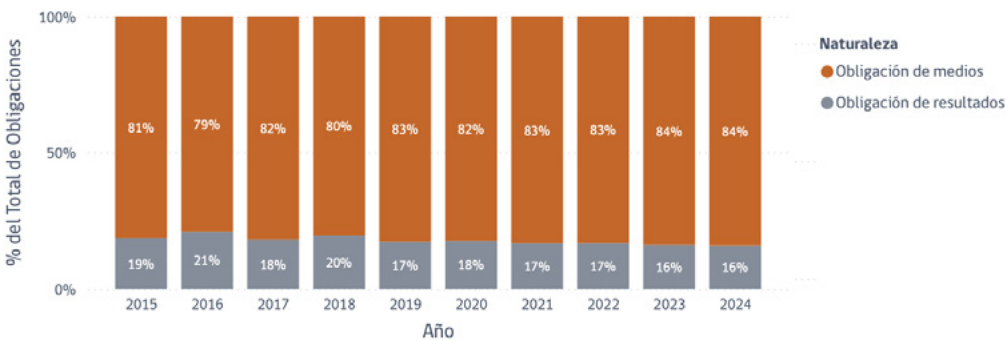
Caracterización de la carga regulatoria ambiental

Hallazgo 10 Predominan obligaciones de medios.

Una vez logrado el inventario de obligaciones contenidas en la RCA, se aplicó a este una serie de clasificaciones, con el objetivo de caracterizar la muestra.

La primera categoría corresponde a la clasificación de obligaciones según su naturaleza, que atiende a la forma en que se describe la obligación, distinguiendo si se limita a declarar el resultado pretendido (obligación de resultados) o si se centra en describir el procedimiento a seguir (obligación de medios), de tal manera que no solo especifican el qué hacer, sino el cómo hacerlo. Para ilustrarlo: exigir a una empresa que instale un tipo específico de filtro de aire, sería una obligación de medios (se enfoca en el *cómo*), mientras que exigirle que no supere un límite de emisiones contaminantes, dándole libertad para elegir el método, corresponde a una obligación de resultados (se enfoca en el *qué*). En la muestra priman las obligaciones que indican cómo cumplir (medios) por sobre las de qué lograr (resultados) (Figura 16).

Figura 16: Proporción de obligaciones por RCA, según su naturaleza y año de calificación



Fuente: Elaboración Propia

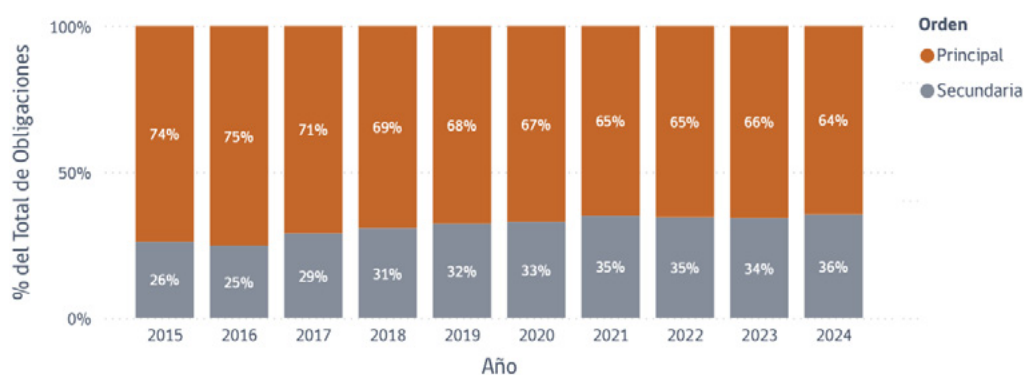
Hallazgo 11 Aumento de obligaciones secundarias (de apoyo, reporte y verificación).

Otra clasificación mira al contexto y a la forma en que se describe la obligación, distinguiendo entre obligaciones principales y secundarias. Las obligaciones principales tienen

como objetivo directo la satisfacción del interés tutelado, como la reducción de emisiones contaminantes en un proyecto industrial. Por su parte, las obligaciones secundarias facilitan, garantizan o acreditan el cumplimiento de las primeras, sin producir efectos de manera directa en el componente ambiental que se pretende resguardar, como la presentación de informes periódicos sobre emisiones.

Las obligaciones secundarias (apoyo/reporte/verificación) suben de 26 % en 2015 a 35 % en 2024 (Figura 17).

Figura 17: Proporción de obligaciones por RCA, según orden y año de calificación

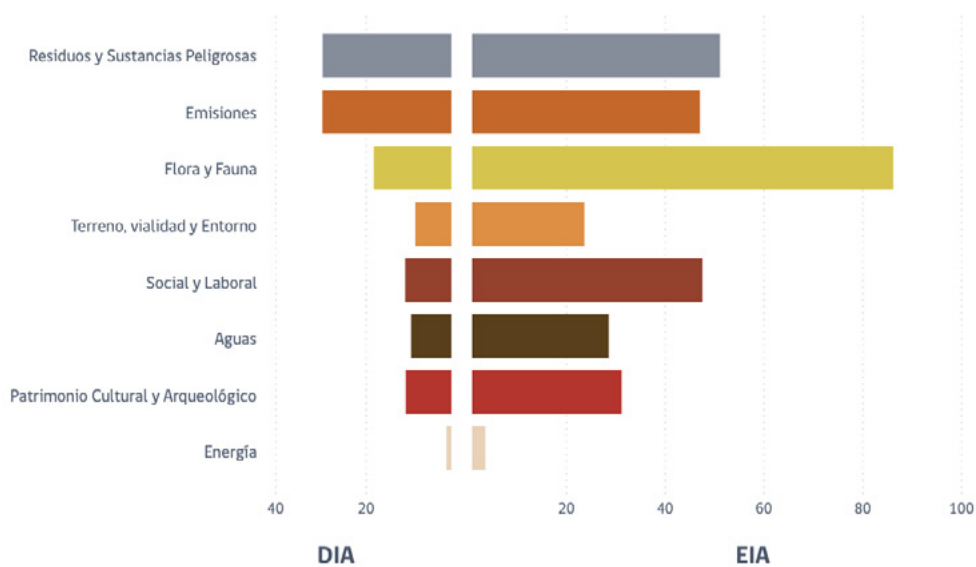


Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 12 El instrumento de ingreso al SEIA se relaciona con la segmentación de componentes ambientales.

Respecto de los componentes ambientales, destaca cómo estos cambian dependiendo del instrumento de ingreso (Figura 18). Los componentes con mayor número de obligaciones en las DIAs son *residuos/sustancias peligrosas* y *emisiones*. Por otro lado, las EIAs se concentran relativamente más en *flora/fauna* y *social/laboral*.

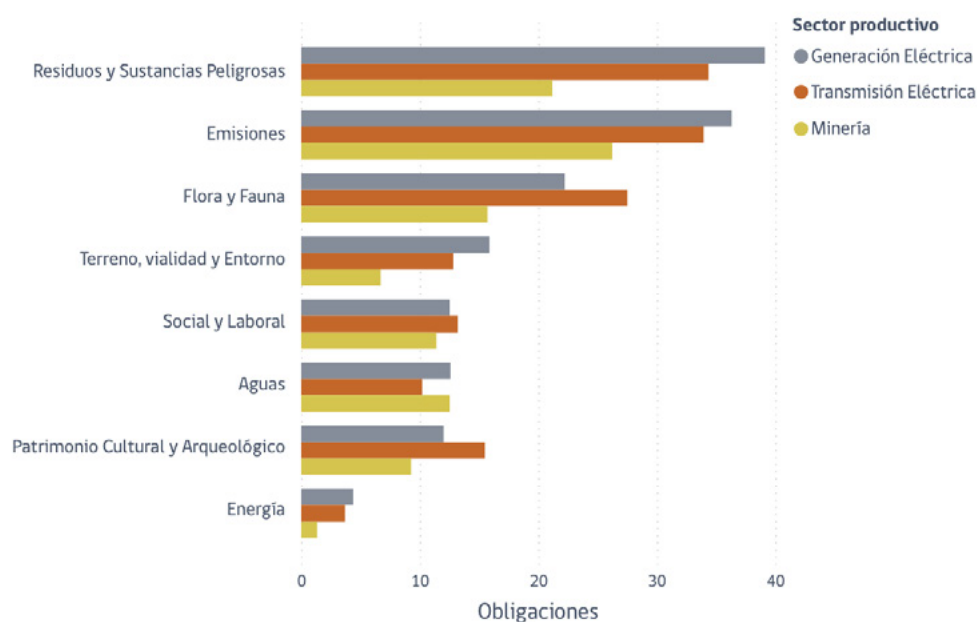
Figura 18: Componente ambiental de las obligaciones, según instrumento de ingreso



Fuente: Elaboración Propia

En el agregado, los componentes de residuos y sustancias peligrosas, emisiones, y flora y fauna son los que más concentran obligaciones, sin existir mayores diferencias en los componentes ambientales abordados por RCAs de distintos sectores.

Figura 19: Componente ambiental de las obligaciones, según sector productivo



Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 13 Obligaciones a lo largo del ciclo de vida.

La gestión del cumplimiento regulatorio es un compromiso de largo plazo, que exige capacidades de gestión sostenidas por parte de los titulares, y no se limita al momento de obtener la RCA, sino que se extiende durante toda la vida del proyecto.

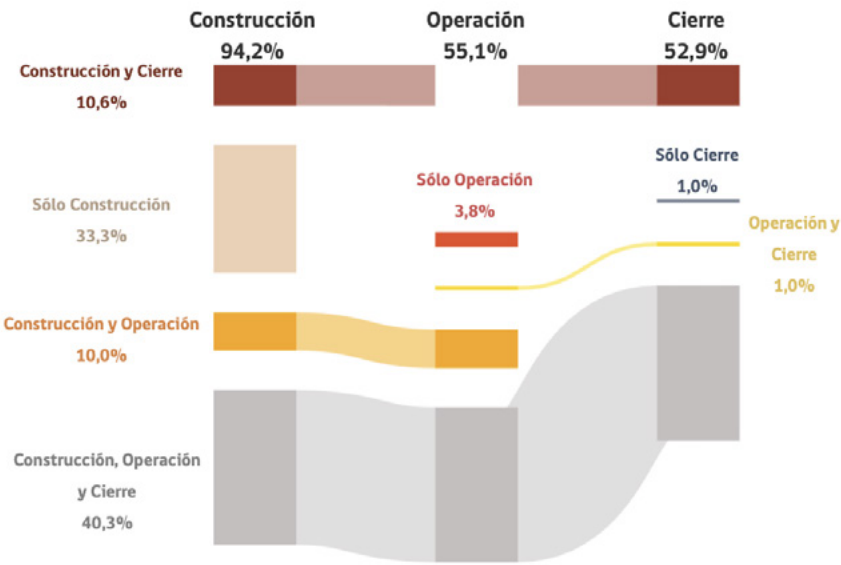
Esto se ve reflejado en los datos: Un 48 % de las obligaciones aplica a todas las fases del proyecto. Un 70 % de las obligaciones aplica al menos a dos de las tres fases del ciclo de vida de los proyectos.³²

Las figuras 20, 21 y 22 a continuación permiten observar cómo se distribuyen las obligaciones según el ciclo de vida de los proyectos. Los proyectos mineros concentran sus obligaciones en la fase de *operación*, mientras que los de energía lo hacen en la de *construcción*, en línea con lo esperado.

³²

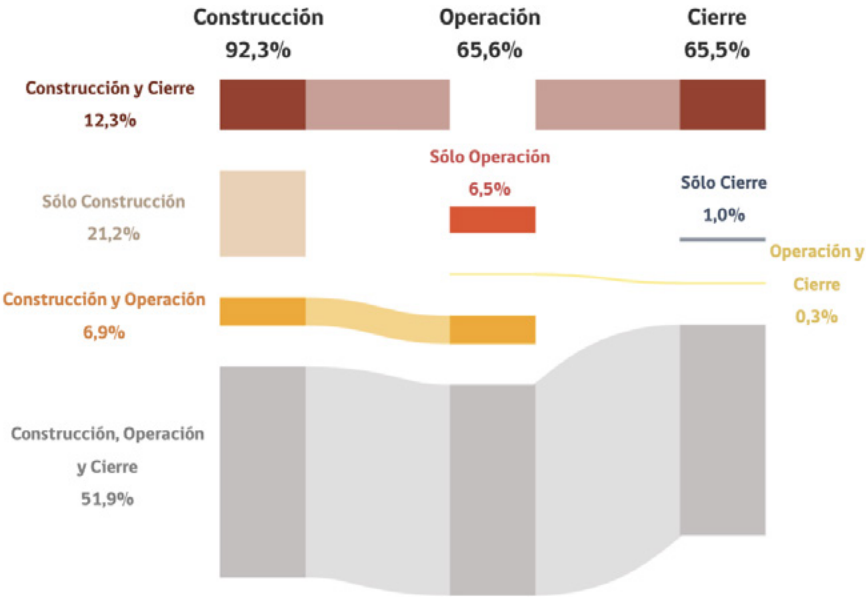
Para efectos de este informe en aquellos casos en que se menciona las fases de pre-operación y post-cierre, se han subsumido a las fases de operación y cierre, respectivamente.

Figura 20: Distribución de fases aplicables por obligación, Transmisión Eléctrica



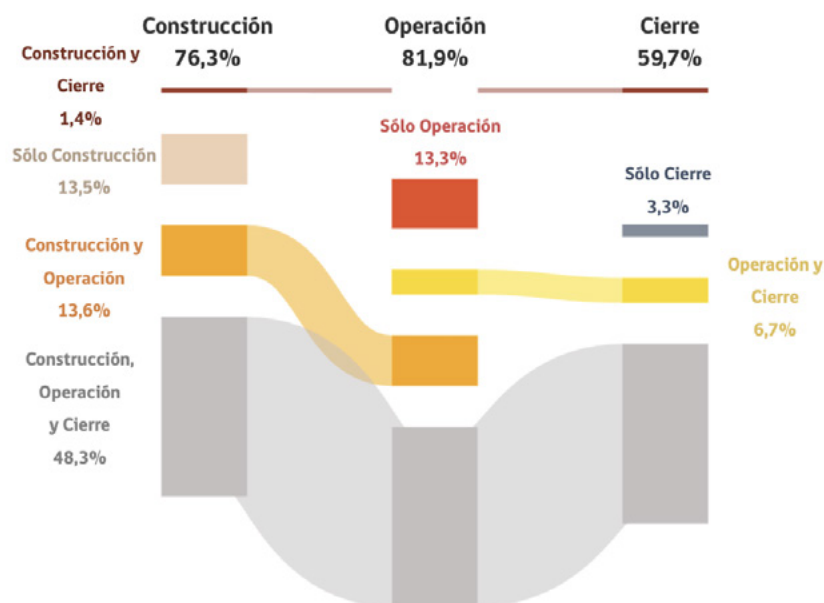
Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Distribución de fases aplicables por obligación, Generación Eléctrica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Distribución de fases aplicables por obligación, Minería

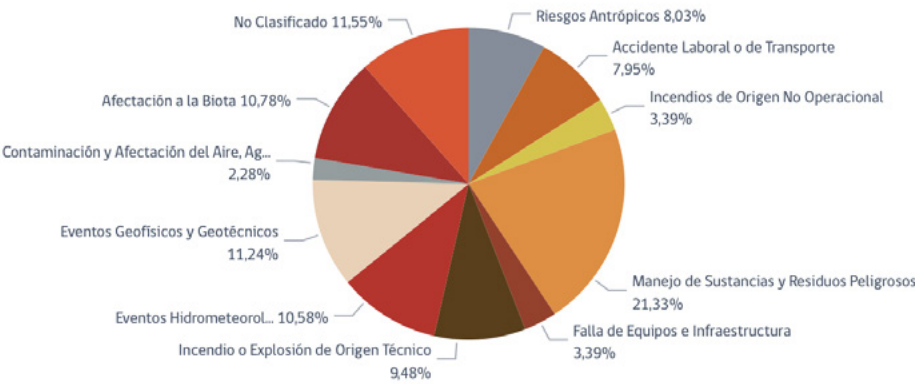


Fuente: Elaboración Propia

Hallazgo 14 Los planes de contingencias y emergencias se enfocan en riesgos operacionales y naturales.

Los planes de contingencias y emergencias priorizan ciertos riesgos (Figura 23). El foco se concentra principalmente en los riesgos *operacionales* —el manejo de sustancias y residuos peligrosos, incendios o explosiones de origen técnico, y accidentes laborales o de transporte—, así como en los *naturales* —eventos geofísicos y geotécnicos (p. ej., sismos, remociones en masa), afectación a la biota y fenómenos hidrometeorológicos (p. ej., lluvias, crecidas, aluviones, sequías)—.

Figura 23: Caracterización de los Planes de Contingencias y Emergencias



Fuente: Elaboración Propia



Capítulo 6





Conclusiones

Este estudio representa un esfuerzo de caracterización empírica y verificable de la carga regulatoria ambiental en Chile, entendida como los diversos deberes de conducta que establecen las condiciones para el desarrollo de las fases de un proyecto. Para el análisis sistemático de 1.336 Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) de los sectores minero y energético emitidas entre 2015 y 2024, se desarrolló una herramienta basada en Inteligencia Artificial Generativa (IA Gen). Esta metodología permitió extraer, estructurar y analizar más de 220.000 obligaciones fiscalizables, transformando documentos complejos y no estructurados en una base de datos auditable y escalable.

El análisis revela hallazgos en tres dimensiones principales:

1. Intensidad: Se constató un aumento sostenido de la carga regulatoria en la última década, transversal a los sectores de minería y energía, así como a distintos niveles de inversión. El incremento se debe a una aplicación más intensiva del stock regulatorio existente antes de 2015, y no a la promulgación de nuevas normativas durante el período analizado; así como a un mayor número de obligaciones que surgen de compromisos ambientales voluntarios y condiciones ad hoc.
2. Origen: El 60 % de las obligaciones tiene un sustento normativo explícito, mientras que el 40 % restante corresponde a compromisos voluntarios o condiciones definidas caso a caso, lo que introduce flexibilidad, pero también heterogeneidad y eventual imprevisibilidad y discrecionalidad. El análisis de las fuentes normativas muestra un predominio de regulaciones asociadas al Ministerio de Salud y al Ministerio del Medio Ambiente. A su vez, los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) más recurrentes se concentran en la gestión de residuos y el uso de suelos, con competencias radicadas en un número acotado de instituciones.
3. Caracterización: Predominan las obligaciones de medios (que prescriben el *cómo*) por sobre las de resultados (que definen el *qué*), junto con un aumento progresivo de las obligaciones secundarias, centradas en reporte y verificación. Además, se observa que una alta proporción de las obligaciones se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos, desde la construcción hasta el cierre.

Más allá de los hallazgos específicos, el estudio valida un nuevo paradigma para el análisis de políticas públicas. La capacidad de procesar un volumen de información que desborda la escala humana fue posible gracias a la IA, superando las limitaciones sistémicas del análisis tradicional, que es inherentemente manual, reactivo y costoso.

En este sentido, la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad concibe la IA como un *multiplicador cognitivo* que aumenta, no sustituye, el juicio experto. La tecnología se encarga del trabajo a escala sobrehumana —procesar miles de documentos para identificar patrones y obligaciones—, liberando a los analistas para que dediquen su tiempo a lo que realmente aporta valor: el análisis estratégico, el juicio crítico y la formulación de recomendaciones.

La adopción de estas herramientas no es una mera búsqueda de eficiencia, sino un imperativo institucional para mantener la relevancia y eficacia en el siglo XXI. La CNEP reconoce a la IA como una tecnología de propósito general, cuyo potencial debiese materializarse dentro de un marco de gobernanza sólido que garantice la responsabilidad, la transparencia y la confianza.

Por ello, este avance debe ir acompañado de un compromiso con principios de implementación responsable, asegurando la calidad de los datos, la mitigación de sesgos y una supervisión experta constante bajo el principio de *human in the loop*.

En definitiva, este trabajo sienta las bases para transformar las manifestaciones de la regulación desde un conjunto de textos estáticos hacia un sistema de datos dinámico y analizable. Con ello, se avanza hacia un marco normativo más coherente y basado en evidencia.

Referencias

- Aghion, P., Bloom, N., Lucking, B., Sadun, R., and Reenen, J. V. (2021). Turbulence, firm decentralization, and growth in bad times. <https://doi.org/10.3886/E115642V1>.
- Berglund, M. et al. (2024). The reversal curse: Llms trained on .a is b"fail to learn "b is a". arXiv preprint.
- Bond, S. R., Leblebicioglu, A., and Schiantarelli, F. (2010). Capital accumulation and growth: A new look at the empirical evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 25(7):1073–1099.
- Bourlès, R., Cette, G., Lopez, J., Mairesse, J., and Nicoletti, G. (2013). Do product market regulations in upstream sectors curb productivity growth? panel data evidence for oecd countries. *The Review of Economics and Statistics*, 95(5):1750–1768.
- CNEP. Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2024). Medición de la ruta crítica de proyectos de inversión minera. Technical report, Comisión Nacional de Evaluación y Productividad, Santiago, Chile.
- Cordes, J. J., Dudley, S. E., and Washington, L. Q. (2022). Regulatory compliance burdens: Literature review and synthesis. Technical report, The George Washington University Regulatory Studies Center.
- Djankov, S., Porta, R. L., de Silanes, F. L., and Shleifer, A. (2002). The regulation of entry. *The Quarterly Journal of Economics*, 117(1):1–37.
- Dziri, N. et al. (2023). Faith and fate: Limits of transformers on compositionality. arXiv preprint.
- Égert, B. (2016). Regulation, institutions, and productivity: New macroeconomic evidence from oecd countries. *American Economic Review*, 106(5):109–113.
- Gulati, S. et al. (2024). Putnam-axiom: A functional and static benchmark for measuring higher level mathematical reasoning. In *Proceedings of the 4th Workshop on Mathematical Reasoning and AI at NeurIPS 2024*.
- Gulen, H. and Ion, M. (2016). Policy uncertainty and corporate investment. *Review of Financial Studies*, 29(3):523–564.

- Hunter Ampuero, I. (2023). Derecho ambiental chileno. Tomo I. Principios, bases constitucionales, instrumentos de gestión ambiental, organización administrativa y Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. DER Ediciones.
- Li, D., Kadav, A., Gao, A., Li, R., and Bourgo (2024). Automated clinical data extraction with knowledge conditioned llms. TODO: Completar nombre de la revista.
- Mankiw, N.G., Romer, D., and Weil, D.N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2):407–437.
- Martin, L., Whitehouse, N., Yiu, S., Catterson, L., and Perera (2024). Better call gpt: Comparing large language models against lawyers. TODO: Completar nombre de la revista.
- Nicoletti, G. and Scarpetta, S. (2003). Regulation, productivity and growth: Oecd evidence. OECD Economics Department Working Papers 347, OECD Economics Department.
- North, D. C. (1990). Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press, Cambridge.
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development (2016). El abc de la mejora regulatoria para las entidades federativas y los municipios: Guía práctica para funcionarios, empresarios y ciudadanos.
- Solow, R.M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1):65–94.
- Srivastava, A. P. et al. (2024). Functional benchmarks for robust evaluation of reasoning performance, and the reasoning gap. arXiv preprint.
- World Bank (2023). Worldwide governance indicators – regulatory quality. <https://info.worldbank.org/governance/wgi/>. Accessed: 2025-08-21.
- Wornow, M. et al. (2025). Zero-shot clinical trial patient matching with llms. NEJM AI.
- Wu, Y. et al. (2024). Reasoning or reciting? exploring the capabilities and limitations of language models through counterfactual tasks. arXiv preprint.
- Xu, T. et al. (2024). The agent company: Benchmarking llm agents on consequential real world tasks. arXiv preprint.
- Yue, X. et al. (2025). Does reinforcement learning really incentivize reasoning capacity in llms beyond the base model? arXiv preprint.
- Zhang, J. and El-Gohary, N. M. (2016). Semantic nlp-based information extraction from construction regulatory documents for automated compliance checking. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Zhang, J. and El-Gohary, N. M. (2017). Integrating semantic nlp and logic reasoning into a unified system for fully- automated code checking. *Automation in Construction*.