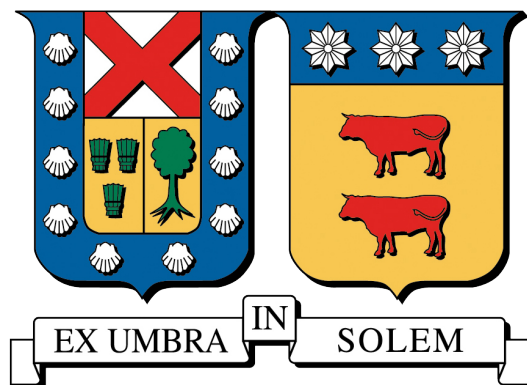


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

SANTIAGO - CHILE



MODELO DE SIMULACIÓN ESTOCÁTICA BASADO EN MODELOS DE ESPERA PARA DISEÑO DE SISTEMA DE GESTIÓN INTERNA DE UN CANAL DE DENUNCIAS DE COMPLIANCE: CASO APLICADO A LA INDUSTRIA MINERA EN CHILE

Diego Alberto Bascuñán Lara

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO COMERCIAL

Profesor Guía : Sr. Juan Francisco Tapia Gertosio
Profesor Correferente : Sr. Rodrigo Ortega Blu

Marzo - 2023

“El haber-sido emerge del futuro, de tal manera que el futuro que ha sido (o mejor, que está siendo) hace brotar de sí el presente”

AGRADECIMIENTOS

Estos años han sido una ruleta de emociones, con profundos altos y bajos que me han permitido crecer a nivel personal como profesional. Agradezco profundamente, su compañía durante este camino, dándome su apoyo incondicional, así como aprender de ustedes.

Agradezco a mi núcleo familiar más cercano, quienes depositaron una cuota de confianza, y siempre tuvieron palabras de apoyo para que siguiera adelante en mi desarrollo universitario.

¡¡Muchas pero muchas gracias por darme un espacio de sus vidas!!

RESUMEN EJECUTIVO

La presente memoria diseña un sistema de atención interna de denuncias de compliance que permita a las organizaciones mineras en Chile aumentar su solidez en lo que respecta tener un robusto ambiente de control.

Para llevar a cabo esto, se realiza una simulación computacional basada en modelos de espera, en donde inicialmente se estudia el comportamiento de las variables claves de gestión de los canales de denuncias, concluyendo que existe una relación directa entre la cantidad de denuncias y la dotación de las organizaciones. A luz de esta hallazgo, se realiza una simulación para tres tipos de organizaciones (1, 2 y 3) con 5.000, 25.000 y 55.000 colaboradores respectivamente. En cuanto a la simulación ésta se realizó en base a un modelo markoviano arrojando que se requieren 2 investigadores para la organización tipo 1, mientras que para las compañías tipo 2 y 3 se requieren 4 y 9 investigadores respectivamente.

En cuanto a la validación de estos resultados, se utiliza el método de las replicas independientes con un valor maestro de 271 iteraciones para cada modelo de simulación de la organización, concluyendo que los resultados de las variables de gestión interna del canal de denuncias tienen un nivel de confianza de un 95 %. Cabe destacar que estos resultados de gestión interna están en línea con las mejores prácticas y tendencias internacionales de gestión de denuncias.

Por otra parte, para llevar a cabo la simulación se establecen tres supuestos en función a la tasa de ingreso de denuncias λ , y la tasa de salida μ . Al sensibilizar estos supuestos, se concluye que la variable más influyente es la tasa de salida, ya que con una disminución de un 10 % los sistemas de todas las organizaciones modeladas requerirían un colaborador adicional. Ahora bien, en lo que respecta a los modelos el más sensible es el de la organización tipo 1, lo cual es natural ya que cuenta con una menor fuerza de trabajo que los otros modelos.

Finalmente, para la implementación de la mejora organizacional se proponen una propuesta que minimice el costo del cambio dentro de la organización. Para esto, se definen como piedra angular dos objetivos estratégicos: **Aumentar el accountability del proceso de gestión de investigaciones de compliance, así como robustecer la implementación de planes de acción frente a brechas detectadas.** Con el objeto de hacer alcanzables estos objetivos, se realiza una propuesta de diseño de plan de difusión de la propuesta dentro de la organización utilizando las capacitaciones, así como un plan de retroalimentación continua con el fin de lograr una mejora continua durante la operación del canal de denuncias. Adicionalmente, se proponen indicadores de gestión para realizar un seguimiento táctico de la implementación, así como para asegurar la calidad del servicio que presta el canal de denuncias a la organización.

Palabras Claves: Compliance, Canal de denuncias, Minería, Simulación, Gestión del cambio

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
1.1. Origen y propósito de la investigación	2
2. Objetivos de la Investigación	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. Alcance de la Investigación	4
4. Metodología de la Investigación	5
4.1. Simulación	6
5. Estado del Arte	8
5.1. Antecedentes del Estado del Arte	8
5.1.1. ¿Qué es el Compliance?	8
5.1.2. Compliance en Chile	10
5.1.3. Benchmarking de Gestión de denuncias de compliance	11
5.1.3.1. Benchmarking de Gestión de denuncias de compliance: Tiempos de investigación	15
5.2. Marco Teórico del Estado del Arte	16
5.2.1. Proceso Estocástico	16
5.2.2. Proceso de Conteo	17
5.2.3. Proceso de Poisson	17
5.2.3.1. Proceso de Poisson: Tiempo entre eventos	18
5.2.4. Proceso Markov	18
5.2.5. Sistemas de Espera basados en un Proceso de Nacimiento y Muerte	19
5.2.5.1. Proceso de nacimiento y muerte	19
5.2.5.2. Caracterización de un sistema de espera: Notación sistemas de espera	20
5.2.5.3. Caracterización de un sistema de espera: Medidas de eficiencia sistema de espera	20
5.2.5.4. Caracterización de un sistema de espera: Relación de Little	21
5.2.6. Sistemas de Espera M M 1	21

5.2.7. Sistema de espera M M C	22
5.2.8. Sistema de espera M M 1 k	23
5.2.9. Sistemas de Espera basado en un Proceso de Renovación	24
5.2.10. Sistema de espera M G 1	25
5.2.11. Caracterización modelo de espera para un canal de denuncias	26
6. Desarrollo de la Propuesta	28
6.1. Descripción del Problema	28
6.2. Industria Minera en Chile	29
6.3. Simulación computacional	30
6.3.1. Parámetros de la simulación	32
6.3.2. Simulación organización tipo 1	33
6.3.3. Simulación organización tipo 2	34
6.3.4. Simulación organización tipo 3	36
6.3.5. Análisis y validación de resultados	38
6.3.6. Sensibilización de los supuestos	39
6.4. Recomendaciones para la implementación	41
6.4.1. Definición de objetivos estratégicos y alcance de la propuesta	41
6.4.2. Definición de Equipo y Recursos necesarios	42
6.4.3. Plan de difusión	43
6.4.4. Evaluación y Retroalimentación continua	44
7. Conclusiones	46
Bibliografía	48
A. Anexos	51
A.1. Estimación de tiempos de cierre de investigaciones	51
A.2. Propiedad de Orden	52
A.3. Propiedad de Falta de memoria	52
A.4. Propiedades proceso de nacimiento y Muerte	52
A.5. Demostración relación de little	53
A.6. Simulación Computacional: Resultados Simulación	54
A.7. Simulación Computacional: Validación de la simulación	61
A.8. Simulación Computacional: Sensibilización de la simulación	61

Índice de Tablas

5.1. Resumen tiempos de cierre de casos investigadores Grupo Antofagasta Minerals	16
5.2. Medidas de eficiencia sistema M M 1	21
5.3. Medidas de eficiencia sistema M M c	23
5.4. Medidas de eficiencia sistema M G 1	26
6.1. Producción y Reservas de Minerales de Chile	29
6.2. Dotación Principales empresas productoras de la Gran Minería de Cobre	30
6.3. Volumen de denuncias anual según tipo de organización a simular	32
6.4. Parámetros para la simulación según tamaño de la empresa	33
6.5. Valores teóricos para organización tipo 1	33
6.6. Resultados simulación organización tipo 1	34
6.7. Valores teóricos para organización tipo 2	35
6.8. Resultados simulación organización tipo 2	35
6.9. Valores teóricos para organización tipo 3	36
6.10. Resultados simulación organización tipo 3	37
6.11. Intervalos de confianza al 95 % para los parámetros de la simulación	38
6.12. Indicadores de difusión modelo y políticas corporativas referentes al compliance	44
6.13. Indicadores de Gestión del servicio del canal de denuncias	44
A.1. Tiempos de investigación casos laborales	51
A.2. Tiempos de investigación casos de Fraude	51
A.3. Resumen validación simulación ($t_{cri} = 1,96$)	62
A.4. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 1, respecto a μ	62
A.5. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 1, respecto a λ	63
A.6. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 2, respecto a μ	63
A.7. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 2, respecto a λ	63
A.8. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 3, respecto a μ	64
A.9. Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 3, respecto a λ	64

Índice de Figuras

5.1. Elementos básicos modelo de prevención de delitos	10
5.2. Volumen de denuncias por 100 colaboradores	12
5.3. Comportamiento volumen de denuncias según tamaño de la organización	13
5.4. Tiempos empleado para cerrar una investigación en [Días]	14
5.5. Tiempos de cierre de casos reportados de manera anónima en [Días]	14
5.6. Porcentaje de denuncias con mérito	15
5.7. Planes de acciones propuestos una vez cerrados los casos	15
5.8. Esquema Proceso nacimiento y muerte a tasas de llegada y salida constante	19
5.9. Diagrama proceso $M M 1$	21
5.10. Diagrama proceso $M M c$	22
5.11. Diagrama proceso $M M 1 k$	24
5.12. Diagrama proceso $M G 1$	25
5.13. Diagrama Canal de denuncias de compliance	27
6.1. Resultado simulación organización tipo 1	34
6.2. Resultado simulación organización tipo 2	36
6.3. Resultado simulación organización tipo 3	37
6.4. Sensibilización de los sistemas respecto a la tasa de atención μ	40
6.5. Sensibilización de los sistemas respecto a la tasa de ingreso de denuncias λ	40
A.1. Número de clientes en el sistema a través del tiempo	53

1 | Introducción

La regulación normativa, la promulgación de leyes así como la consecuente exposición a riesgos reputacionales de las organizaciones, hace que las áreas de prevención de delitos sean un actor fundamental para asegurar un robusto ambiente de control en las firmas, permitiendo detectar y prevenir posibles actos que puedan afectar la posición estratégica o acarrear sanciones penales.

Para un adecuado desarrollo de las áreas de Compliance existen distintos instrumentos que permiten lograr un robusto ambiente de control. Dentro de los instrumentos más destacados se encuentran los canales de denuncias, las políticas y normativas internas asociadas a temas éticos y buenas prácticas empresariales, la capacitación continua y sin duda la cercanía y confianza de esta área parte de la compañía. La conjugación de estos instrumentos permite que las áreas de prevención de delitos puedan detectar, actuar y prevenir posibles actos que estén fuera de las prácticas y estrategia que ha definido la compañía para la consecución de objetivos estratégicos.

A pesar de contar con distintas herramientas para detectar y prevenir delitos en la organizaciones, un estudio realizado por la unidad de análisis financiero reveló que durante el primer semestre del año 2022 las operaciones sospechosas de lavado de activos han tenido un alza de un 25 % ([Diario La Tercera, 2022b](#)). De hecho, durante el año 2022 la fiscalía formalizó a la corredora de bolsa “Larraín Vial S.A” y a dos ejecutivos por negligencia frente a un caso de apropiación indebida de un monto cercano a 1.700 Millones de pesos chilenos ([Diario La Tercera, 2022a](#)). Es importante mencionar que grandes corporaciones no están exentas de caer en prácticas antiéticas, como es el caso de Glencore quien recibió una multa de 311 Millones de dólares por sobornos a agentes de gobiernos africanos a cambio de acelerar su expansión en este territorio. Este hecho en su minuto provocó que las acciones de Glencore disminuyeran un 8,1 %, lo cual muestra el impacto directo de incurrir en delitos que afecten la reputación de la organización ([Diario Financiero, 2022](#)).

De acuerdo con lo anterior, es importante que las áreas de prevención de delitos en las organizaciones cuenten con independencia de acción, herramientas, recursos para que las organizaciones acepten el desafío de erradicar de sus prácticas empresariales. Para esto, es importante que la estrategia de la organización y cultura estén alineadas con este objetivo de reforzar el gobierno corporativo.

1.1. Origen y propósito de la investigación

De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad del Desarrollo a distintos rubros empresariales en Chile, se llegó a la conclusión que existe un desarrollo disímil entre los distintos rubros de negocios estudiados. En particular, se determinó que los rubros como retail presentan una ventaja competitiva frente a otros rubros en lo que respecta al desarrollo de áreas de prevención de delitos. Dentro de los rubros que se están quedando más atrás se encuentran la industria de la minería, transporte y silvoagropecuaria ([Universidad del Desarrollo, 2021](#)).

Lo anterior es crítico, ya que la exposición al riesgo de la industria minera debido al nivel de operaciones y gasto operacional hace que este expuesta a estar vinculado a distintos delitos lo que puede provocar un inminente impacto reputacional. De hecho, el modelo seguido por la industria minera en lo que respecta al compliance, es externalizar a empresas consultoras la investigación de los denuncias, lo cual hace que el accountability no sea el deseable, no consiguiéndose en muchos mediadas de remediación adecuadas a la realidad de la organización y del problema.

Ahora bien, para desarrollar de manera adecuada un área de prevención de delitos, según ([Prelafit, 2013](#)) es importante contar con un canal de denuncias que permita detectar y actuar frente a posibles delitos denunciados a este. Esto es reafirmado por ([World Compliance Association, 2021](#)) afirmando que es el canal de denuncias es el “corazón” de cualquier modelo de prevención de delitos.

Como posible solución a esta brecha, en la presente memoria se realizará una propuesta para la industria minera en relación con la gestión de interna de un canal de denuncias que permita acercar y reconocer por parte la organización la labor de las áreas de prevención de delitos, así como proponen mejores medidas de remediación con el objetivo de tener mayor accountability.

En otras palabras, la presente memoria tendrá como objetivo remediar la observación realizada por el estudio de la Universidad de Desarrollo, de mejorar la posición de la industria en lo que respecta al desarrollo del compliance.

2 | Objetivos de la Investigación

2.1. Objetivo General

Realizar una propuesta de diseño de servidor de atención interna de un canal de denuncias de Compliance basado en teoría de colas e indicadores de gestión internacional, para una compañía de la gran Minería de Cobre en Chile

2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar y analizar los principales indicadores de para la gestión de un canal de denuncias de compliance a nivel internacional, con el objetivo establecer una relación entre el tamaño de la organización y el número de denuncias.
- Hacer una revisión bibliográfica referente a los modelos de espera, con el fin de caracterizar y definir el modelo de espera asociado a un Canal de Denuncias de Compliance.
- Realizar una simulación computacional que permita establecer la cantidad de servidores con la cual deberá contar un compañía o grupo minero de modo de gestionar internamente las denuncias de compliance.
- Plantear los aspectos relevantes que debe incluir el sistema de atención interna del canal de denuncias compliance al momento de su implementación.

3 | Alcance de la Investigación

El estudio tiene como fin realizar una propuesta de diseño de un sistema de atención a denuncias de compliance realizadas mediante un canal de denuncias corporativo, aplicado a la industria minera. De esta manera, se explorará el comportamiento internacional de las denuncias de compliance, a fin de cuantificar indicadores claves de gestión de un canal de denuncias, que permitan establecer los recursos necesarios para dar un buen servicio a los clientes del canal de denuncias. Sin embargo, es importante mencionar que, existen otros aspectos relevantes de una buena gestión de compliance que no se abordarán en la presente propuesta de desarrollo.

Con lo anterior, se apunta que la gestión de compliance conlleva aspectos normativos que están fuera de las competencias de un Ingeniero Comercial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Ahora bien, en cuanto al desarrollo de la investigación esta será descriptiva, caracterizando las principales variables que describen el estado de gestión de un canal de denuncias, mediante la modelación basa en teoría de colas. Adicionalmente, para caracterizar de manera adecuada la gestión del canal, se tomará como referencia en el diseño del sistema el comportamiento de los principales indicadores.

Finalmente, con el objetivo de realizar una propuesta robusta se incluirá una recomendación de implementación enfocada a la gestión del cambio, abordando los aspectos más críticos de la industria minera con sus stakeholders.

4 | Metodología de la Investigación

Como sugiere [Hernández et al. \(2014\)](#) es importante identificar las variables previo a realizar la propuesta de desarrollo. Naturalmente, existen dos tipos de variables, las dependientes e independientes. Respecto a esta últimas, son claves para explicar el comportamiento de las variables dependientes a estudiar. Para la presente se definen las siguientes variables fundamentales, existiendo otras relaciones importantes que nacen de aplicar el modelo de espera.

- **Variable Dependiente:**

(a). **Número de investigadores:** Corresponde a la cantidad de “*servidores*” contará el sistema a diseñar.

- **Variables Independientes:**

(a). **Volumen de denuncias:** Representa a la cantidad de denuncias que recibe una organización en un intervalo de tiempo. Esta variable también se puede representación mediante un ratio por unidad de trabajadores, en particular, cada 100 colaboradores como se estudia en esta memoria.

(b). **Tiempo de cierre de investigación:** Corresponde al tiempo total que lleva cerrar una denuncia de compliance. De esta manera, este valor tendrá incluido el tiempo que lleva cerrar una denuncia, así como el valor temporal que el caso está a espera de ser investigado.

(c). **Tamaño de la organización:** Dotación total de una empresa o grupo, considerando los colaboradores internos y contratistas.

Ahora bien, respecto a la recolección de datos estos realizan a partir de información publica de las principales compañías mineras de la gran minería de cobre. Esta muestra de empresas presenta gran variabilidad, con empresas de cerca de 5.000 a más de 50.000 colaboradores. De esta manera, previo a realizar la modelación, se estudiará relación entre tamaño de la organización y volumen de denuncias, de manera, de analizar si se deben estudiar de manera separada las firmas mineras chilenas. Para el caso del tiempo de cierre de una investigación, se estudiará sólo el componente asociado al tiempo investigación, para esto se realizarán dos entrevistas a especialistas senior, con el objetivo de identificar el tiempo total que lleva cerrar una investigación.

Para cumplir el objetivo de la memoria y, producto que no se cuenta con una base de datos pública de las organizaciones es que se realizará un experimento basado en una simulación computacional que tendrá como por objetivo determinar el comportamiento de las variables de interés en función de criterios de gestión de gestión internacional que permitan dar un servicio de calidad a los clientes del canal de de denuncias.

4.1. Simulación

Según [Abad \(2002\)](#), una simulación se puede definir como una técnica que consiste en llevar a cabo una serie de experimentos sobre el modelo de un sistema. De esta manera, la simulación implica crear un modelo que aproxima ciertos aspectos del sistema real, mediante a la generación de historias artificiales del sistema real.

En cuanto al tipo de simulación a realizar, contará con las siguientes características:

- (a). **Dinámica:** Las variables a modelar se describirán mediante ecuaciones matemáticas, por lo cual, en cada iteración cambiarán su valor dependiendo de la variable que se ha perturbado.
- (b). **Estocástica:** Las variables a modelar seguirán comportamientos probabilísticos de acuerdo a una distribución de probabilidad que las modele.
- (c). **Eventos Discretos:** Las variables que describen el estado del sistema cambiarán sólo si ocurre un evento que permita su cambio de estado. En otras palabras, éstas podrán cambiar su valor conforme existan denuncias que ingresen al sistema o salgan de este.
- (d). **Terminal:** La simulación ocurre hasta un evento final, para este caso se definirán el comportamiento del sistema a nivel de 1.000 denuncias que hayan ingresado.

De esta manera, el experimento se realiza mediante la creación de un sistema markoviano de espera, en donde la tasa de llegada de las denuncias λ y de atención μ seguirán un proceso de poisson, con tiempos entre llegadas (atención) exponenciales, las cuales permitirán describir el comportamiento del sistema en el mediano plazo.

Finalmente, para la validación de la simulación se hace uso del *replicas independientes*, el cual consiste en realizar “n” simulaciones del modelo, con el objetivo de determinar si los indicadores de la simulación son consistentes estadísticamente. Naturalmente, para que esta prueba consiga los objetivos deseados, las “n” replicas deberán ser generadas de igual condiciones, o en otras palabras, deben surgir de correr “n” veces el modelo. Ahora bien, para establecer si los parámetros que entrega la simulación son validos, se realiza un test de hipótesis para la media del valor, donde se contrastará el valor de la muestra de “n” replicas independientes, con el valor del parámetro obtenido.

De esta manera el test de hipótesis se define como:

$$H_0 : \gamma_i = \mathbb{E}(X_i)$$

$$H_1 : \gamma_i \neq \mathbb{E}(X_i)$$

El valor del parámetro de t para cada indicador i estará dado por la siguiente expresión,

$$t_i = \frac{\gamma_i - \mathbb{E}(X_i)}{\frac{S_{X_i}}{\sqrt{n}}} \quad (4.1)$$

Y, por su parte el valor de las “n” replicas independientes será,

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2}{4\alpha^2}$$
$$N = 271$$

5 | Estado del Arte

5.1. Antecedentes del Estado del Arte

5.1.1. ¿Qué es el Compliance?

El compliance tiene relación con el cumplimiento normativo de leyes, regulaciones, políticas, así como cualquier normativa interna que tengan las organizaciones. De esta manera, el cumplimiento es un soporte esencial para las compañías, ya que permite establecer ambientes robusto de control, lo cuales permitirán asegurar que la actualización de los ejecutivos y colaboradores de la organización serán con los más altos niveles de probidad y profesionalismo, entregando de un mensaje de confianza hacia los stakeholders ([Astudillo, Schulz, Yáñez, 2021](#)).

En relación, con el origen de este concepto, se puede mencionar que surge para combatir el financiamiento de los políticos en ejercicios y de sus partidos. Lo anterior, se debió a que la SEC y DOJ de EE.UU realizó un estudio donde pudo constatar que más de 400 compañías estaban directa o indirectamente involucrados con el financiamiento en la política. Naturalmente este hallazgo trajo consigo una pérdida de confianza en el mercado, y conscientemente obligaba al gobierno a diseñar una estrategia que permitiera retomar la confianza. De esta manera, EE.UU decide crear una ley que buscaría impedir la corrupción de los funcionarios públicos y partidos políticos, mediante la implementación de un sistema de control interno en materia de traspasos de dinero a los funcionarios públicos ([Benavente, Ibáñez, Muñoz, 2019](#)).

Con el paso del tiempo y, distintos escándalos se hizo necesario en otros mercados contar con una legislación que evitara que las firmas financiaran a los políticos en ejercicio, por lo cual, paulatinamente se comenzaron a implementar leyes que emularan a la norteamericana en materia de corrupción. Así mismo, organizaciones no gubernamentales como la ODCE, iniciaron una promoción de buenas prácticas empresariales que buscaran disminuir la corrupción, mediante la promoción de espacios de discusión de temas de combate a la corrupción ([Benavente, Ibáñez, Muñoz, 2019](#)). De esta manera, paulatinamente las organizaciones comenzaron a incorporar a áreas de control interno y compliance con el objetivo de aumentar su ambiente de control, así como evitar caer en riesgos que pudieran exponer la reputación de la

organización, así como su posición estratégica ([world compliance association, 2020](#)).

Ahora bien, a nivel de las organizaciones sus programas de compliance han mutado a tener aspectos básicos para cumplir su propósito. Un programa de compliance a nivel empresarial, es un conjunto de normas internas, procesos, procedimientos y buenas prácticas que ayudan a las firmas a identificar, evaluar y gestionar los riesgos asociados a las actividades que se realizan. Esto obviamente depende del contexto que opera la compañía, ya que existen distintas legislaciones que imponen distintos compromisos hacia las organizaciones. Sin embargo existen aspectos generales que deben cumplir los programas de cumplimiento de las organizaciones, a continuación se en-listan los aspectos considerados por [World Compliance Association \(2021\)](#).

- a). **Liderazgo y cultura ética:** El programa de compliance, se debe construir a partir de los valores de la organización, por lo cual debe estar enmarcado sobre su código de ética, misión y visión que articula a la organización a su quehacer. A esto se suman según [Prelafit \(2013\)](#), la necesidad de compromiso de la alta dirección, ya que es necesario que los colaboradores sepan los líderes están comprometidos con esto.
- b). **Sistema disciplinario:** Los colaboradores deben tener claro las sanciones que estarán expuestos a cometer actos que no estén dentro de los valores que la organización no considera éticas. Para esto la firma deberá tener sanciones justas para los casos de incumplimiento.
- c). **Gestión de canal de denuncias:** El canal de denuncias constituye la piedra angular de cualquier programa de compliance, ya que es la principal vía para detectar potenciales incumplimientos dentro de la organización. De esta manera, las compañías deberán proveer para los trabajadores o terceros interesados los mecanismos para realizar denuncias anónimas y sin represalias, así como procedimiento serio y confiable de investigación interna.
- d). **Gestión de riesgos:** En este sentido, la organización deberá contar la gestión de planes de acción para disminuir la exposición del riesgo a los cuales la organización no esté dispuesta a tolerar. Así mismo, deberá de manera proactiva detectar posible riesgos emergentes que pudieran afectar a la organización de manera negativa.
- e). **Due Diligence a terceros:** La organización deberá contar con los medios, para analizar las relaciones a las cuales está expuesta al momento de celebrar un contrato, evaluar un negocio, etc. Esto proveer un robusto ambiente de control en la exposición del riesgo de interactuar con organizaciones sancionadas nacional o internacionalmente.

5.1.2. Compliance en Chile

Para acercarse al inicio de lo que sería el compliance en Chile propiamente tal, se debe contextualizar que la incorporación del país a la OCDE fue el principal catalizador que haría necesario contar con profesionales abocados al cumplimiento normativo en las organizaciones. De esta manera, el tránsito de Chile a hacía su incorporación a los países miembros de la ODCE no estuvo exenta de cambios normativos. En este sentido, Chile debía mejorar su legislación en materia de cohecho en las transacciones comerciales (Peña & Piedra, 2016). Según José Ignacio Merino (2010), esto se debía a que la legislación Chilena no era lo suficiente robusta, presentando deficiencias en relación con la responsabilidad de la persona jurídica, en todas palabras, no era suficientemente clara sobre la responsabilidad penal de las empresas. A pesar que Chile mejoró su normativa en torno a la responsabilidad penal de las organizaciones, no serían resueltas todas las deficiencias hasta la promulgación en el año 2009 de la ley 20.393 referente justamente a la responsabilidad penal de la persona jurídica.

El objetivo de esta ley fue definir los mínimos que deben cumplir las organizaciones para una serie de delitos asociados a materias penales tales como la receptación, lavado de activos, financiamiento al terrorismo, entre otras. Así mismo, esta norma define un marco normativo de acción dentro de las organizaciones, creando una figura de encargado de prevención de delitos, así como un sistema de control de prevención de delitos, el cual deberá dotar a este encargado de los medios necesarios para actuar y salvaguardar la integridad de la organización (SEGPRES, 2016).

Figura 5.1: Elementos básicos modelo de prevención de delitos



Fuente: Elementos Básicos para modelos de prevención de delitos en empresas públicos, (SEGPRES, 2016)

Como se puede observar en la Figura 5.1, el governance de compliance no sólo se se soporta con el compromiso de la alta dirección, sino que también depende de los colaboradores de la organización, así

como diferentes áreas de apoyo internas.

Ahora bien, luego de más de 13 años de implementación de la ley 20.393 determinar ¿cuál es el estado del compliance en Chile?. Para dilucidar esto, el Centro de Derecho Regulatorio de la [Universidad del Desarrollo \(2021\)](#) realizó un estudio de campo para una serie de organizaciones de diferentes rubros comerciales en Chile. Dentro de las principales conclusiones que muestra el informe es que cerca de un 88 % de las compañías estudiadas ha generado el rol de encargado de prevención de delitos, pero cerca de la mitad de estas organizaciones comentan que este rol no es completamente independiente. Esto es preocupante, ya que esta función requiere exclusividad debido a los potenciales conflictos de interés que se podrían desencadenar al compartir funciones. Por otra parte, este estudio también muestra que existe un mayor desarrollo más maduro de compliance en empresas de tipo retail por sobre otras industrias como la minería, transporte y salviagropecuario quienes tienen en promedio un desarrollo menor en cuanto al compliance. Adicionalmente, el estudio también muestra la posición de Chile en relación a los países de la región, en donde los grupos empresariales chilenos presentan modelos de prevención más robustos que los otros grupos empresariales de la región, esto de alguna manera es un fiel reflejo que la percepción de corrupción es menor en Chile a otros países de la región ([Universidad del Desarrollo, 2021](#)).

Respecto al resultado de esta encuesta, es preocupante que sectores como la minería no tengan un debido desarrollo de su área de Compliance, ya que están expuesto a un gran número de factores de riesgos que podrían afectar su operación. Dentro de lo factores más críticos (ver anexo??), se encuentra el importante número de colaboradores con los que cuenta para operar, lo cual hace que sea más propenso a estar expuesto a cometer delitos sin que la alta administración tenga visión de lo que está pasando. A esto, se suma las operaciones diferentes latitudes, lo cual imposibilita tener una visión al detalle de las operaciones. Por otra parte, a lo anterior se añade el importante gasto que llevan las compañías mineras para llevar a cabo sus operaciones, lo cual sumado a la cantidad de operaciones de compra o venta en su cadena de valor, hace que este expuesto a diferentes riesgos reputacionales asociados a la ley 20.393.

Finalmente, un aspecto muy importante de mencionar es la dependencia hacía las comunidades locales (licencia social para operar) que hace se puedan producir esquemas de fraude con el objetivo no afectar la operación y lograr las metas de producción.

5.1.3. Benchmarking de Gestión de denuncias de compliance

En cuanto a los indicadores de gestión de las denuncias, [Penman C. & Brut A. \(2022\)](#) anualmente realizan un estudio de campo para determinar las principales tendencias en torno a la gestión de los canales de denuncias. Este estudio contempla un análisis de más de 3027 organizaciones de al menos 12 rubros económicos, con más de 1,3 millones de denuncias analizadas para establecer las conclusiones.

Respecto a la metodología del informe, esta es robusta ya que, si bien utiliza las medianas para la

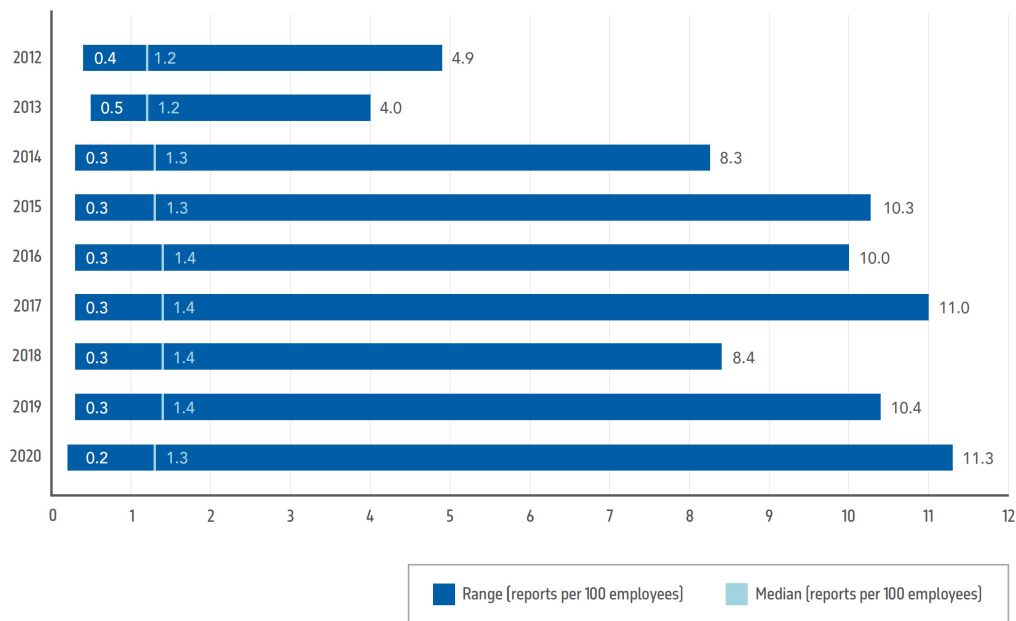
caracterización de un indicador, de igual manera presenta la distribución de este, permitiendo visualizar si existe heterogeneidad para visualización de los indicadores.

A continuación, se presentarán los principales resultados de este informe referente a cada uno de los indicadores de gestión.

I. Volumen de denuncias por cada 100 colaboradores

Como se puede observar en la Figura 5.2 el comportamiento de la mediana de este indicador desde año 2012, ha permanecido dentro de un rango de [1, 2; 1, 4]. Como se puede observar, para el año 2020, este valor descendió a un valor 1,3, justificado según el informe fundamentalmente producto que los colaboradores han comenzado a realizar las denuncias a organismos estatales. La siguiente ecuación modela el ratio, en donde D Corresponde a las denuncias proporcionales al número de colaboradores C de la organización. Notar que V_d , corresponden a la mediana de 1,3.

Figura 5.2: Volumen de denuncias por 100 colaboradores



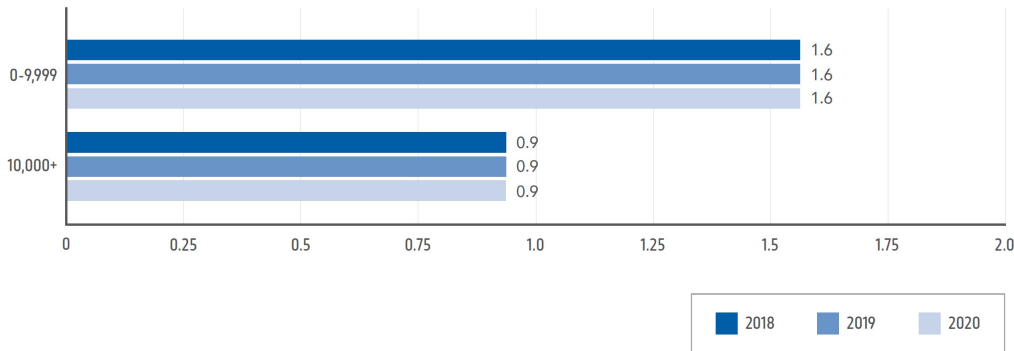
Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

$$V_d = \frac{D}{C} \times 100 \quad (5.1)$$

Por otra parte, lo interesante de este indicador es que relaciona de manera directa la cantidad de colaboradores con un ratio esperado de denuncias por cada 100 de estos. Esto a su vez también permite establecer el valor esperado de denuncias proporcional al tamaño de la organización. De hecho, el informe concluye que existe una correlación entre el número de denuncias y la cantidad de empleados. De esta manera, el informe muestra que para organizaciones con menos de 10 mil colaboradores, el volumen de

denuncias por cada 100 colaboradores será de 1,6, mientras que para organizaciones de mayor tamaño, será de 0.9. Con esto se puede establecer la siguiente relación entre las variables de la ecuación 5.1

Figura 5.3: Comportamiento volumen de denuncias según tamaño de la organización



Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

$$D = \frac{V_d \times C}{100} \quad (5.2)$$

Notar que el valor de V_d será dependiente del tamaño de la compañía que se está estudiando.

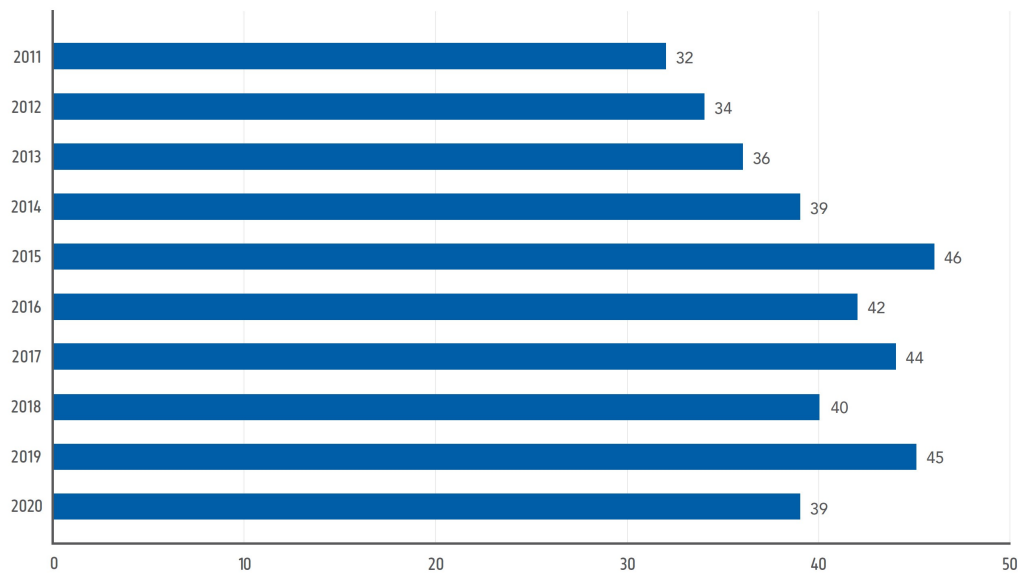
II. Tiempo de cierre de investigaciones

Esta métrica es fundamental para los modelos de prevención de delitos, ya que muestra la rapidez con la actúa la organización frente a casos que vulneren la normativa interna de esta. De esta manera, la gestión de este indicador es clave para dar credibilidad a la estructura investigativa de la organización.

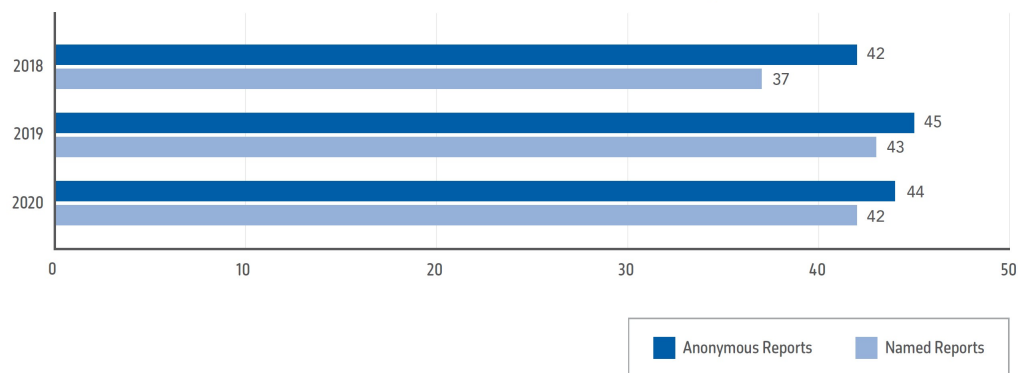
Ahora bien, el estudio arrojó que la mediana del cierre de casos está cercana a los 39 días, de corridos, es decir, la métrica no cuenta solamente los días laborales. Sin embargo, se observa que existe dispersión sobre las medianas, de hecho el rango [20; 40] días tiene una concentración del 34 %. Es importante mencionar que para valor para más de 100 días, no existe una concentración relevante, por lo tanto, la métrica propuesta es idónea para medir el tiempo de cierre de un caso, no produciéndose una subestimación del valor.

III. Otros indicadores relevantes

- a) **Volumen de denuncias anónimas** : Dentro de las características que deben contar los canales de denuncias es permitir el anonimato al momento de subir una denuncia. Penman C. & Brut A. (2022) muestran en su informe que cerca del 58 % de las denuncias son anónimas. Sin embargo, comentan que en el largo plazo este indicador tenderá a disminuir, ya que las nuevas generaciones que están tomando preponderante en las organizaciones, sienten menos presión al momento de revelar su identidad. Ahora bien, es importante mencionar que las denuncias anónimas tienen un tiempo de resolución mayor respecto a una denuncia en que el denunciante se identifica.

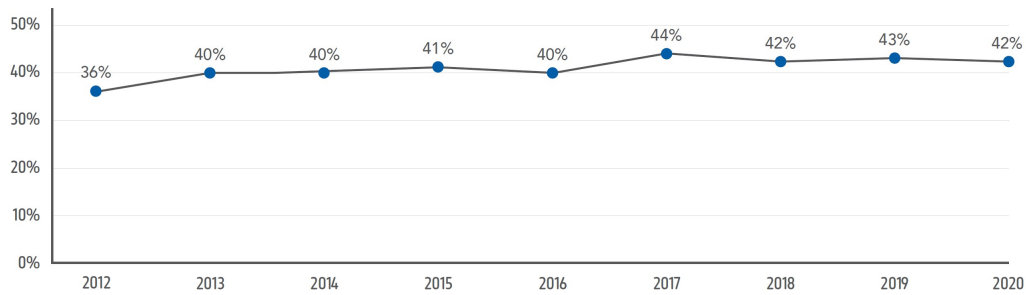
Figura 5.4: Tiempos empleado para cerrar una investigación en [Días]

Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

Figura 5.5: Tiempos de cierre de casos reportados de manera anónima en [Días]

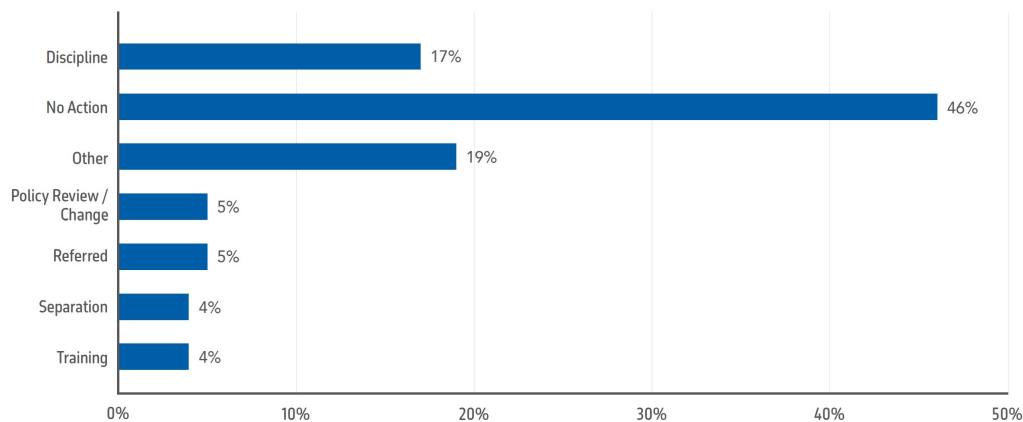
Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

- b) **Porcentaje de denuncias con mérito** : Al momento de concluir una investigación existen dos posibilidades, que la denuncia no tenga los suficientes sustentos para declararse con mérito. Naturalmente, una denuncia declarada con mérito tienen las suficientes evidencias fanáticas para concluir el caso. Ahora bien, a nivel general el 42 % de las denuncias ingresadas son con mérito, siendo las tipologías de Accounting, Integridad de la organización y mal uso de los bienes de la empresa, las que tienen mayor mérito proporcional. En la Figura 5.6, se observa el comportamiento de este indicador.
- c) **Planes de acción propuestos** : Ahora bien, es importante mencionar que una vez concluida la investigación se procede a realizar una reparación sobre las brechas detectadas de modo de tener un ambiente de control más robusto o mejorar el ambiente laboral, si es que el caso está relacionado a recursos humanos. Sin embargo, es interesante que cerca del 46 % de los casos no tienen ningún

Figura 5.6: Porcentaje de denuncias con mérito

Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

plan de acción asociado. Respecto a los planes de acción más usuales, las medidas disciplinarias, así como las separación de las funciones son los más comunes. La Figura 5.7 contiene el detalle de estas acciones.

Figura 5.7: Planes de acciones propuestos una vez cerrados los casos

Fuente: 2021 Risk & Compliance incident management benchmark report, (Penman C. & Brut A., 2022)

5.1.3.1. Benchmarking de Gestión de denuncias de compliance: Tiempos de investigación

Si bien, el informe de Risk & Compliance incident management por (Penman C. & Brut A., 2022), entrega información sobre el tiempo de cierre de investigaciones, no entrega en detalle cuanto es el número de investigaciones que un profesional es capaz de cerrar en algún lapso de tiempo. No obstante, ACFE (2019) desarrolló un estudio de campo, en donde determinó que al año un investigador cierra 39 casos, de esta manera, mensualmente cerraría en promedio 3,25 casos.

Teniendo en cuenta los anterior, bajo un esquema de 45 horas laborales semanales, un investigador tardaría 55,4 [Horas] aproximadamente en cerrar un caso. Ahora bien, a fin de mejorar la calidad de esta información, se realizó una entrevista a dos investigadores senior del grupo antofagasta minerals, con el objetivo de determinar cuantos horas emplean en cerrar un caso. En el anexo A.1, se encuentran dos tablas

como resultado de la entrevista.

Finalmente, como se puede ver en la Tabla 5.1 los investigadores del grupo tardan en promedio un 31,8 % menos en cerrar los casos. Ahora bien, esto se puede deber a que informe de [ACFE \(2019\)](#) hace referencia a solo casos de fraude, mientras que este indicador del valor promedio incluye los casos relacionados a temáticas laborales (recursos humanos). Para fines prácticos estos valores serán los utilizados en los cálculos de la presente memoria.

Tabla 5.1: Resumen tiempos de cierre de casos investigadores Grupo Antofagasta Minerals

Tipo de Caso	Horas Destinadas
Recursos Humanos	34,7
Fraude	40,9
Promedio	37,8

Fuente: Fuente elaboración propia

5.2. Marco Teórico del Estado del Arte

En la siguiente sección se presenta una revisión bibliográfica sobre de la teoría de colas. Inicialmente, se describirá la base teórica de esta, analizando los procesos estocásticos y de nacimiento y muerte. Este apartado está fundamentalmente basado en los siguientes autores; *Probability, Markov Chains, queues and simulations* de [Stewart \(2009\)](#), *Métodos cuantitativos para administración* de [Hillier et al. \(2008\)](#), *Markov processes for stochastic modeling* de [Ibe \(2013\)](#), *Markov Chains* de [Ching and Ng \(2006\)](#), así como *Modelos estocásticos y de optimización para la gestión de un Call-Center* ([Duarte E., 2004](#)).

5.2.1. Proceso Estocástico

El concepto de proceso estocástico amplía la noción sobre variables aleatorias, ya que relacionan estas mediante un parámetro. De esta manera, los procesos estocásticos permiten estudiar sucesos que ocurren a lo largo del tiempo, como por ejemplo la cantidad de llamadas realizadas a un call-center [Montes \(2007\)](#).

Ahora bien, referente a lo anterior, para una variable aleatoria X que describe un evento $S \in \Omega$, para cualquier posible valor de esta variable, existe un proceso estocástico que describe el comportamiento de esta para diferentes valores de parámetro en cual se encuentra indexada la variable. Dicho esto, se puede generalizar un proceso estocástico como la familia de variables aleatorias $\{X(t, s) \mid t \in T, s \in \Omega\}$ definidas sobre un espacio de probabilidad que está indexado a un parámetro de t .

Naturalmente los valores que retorna la variable aleatoria, así como los valores que puede tomar el parámetro t pueden ser continuo o discretos. ([Ibe, 2013](#))

5.2.2. Proceso de Conteo

Es un proceso estocástico, en donde $\{N(t), t \geq 0\}$ modela la cantidad de eventos que ocurren en el intervalo de tiempo que pertenece a $[0, \infty[$. De este proceso implica las siguientes propiedades.

- $N(t) \in \mathbb{N}_0^+$
- $N(0) = 0$
- Si $t_0 < t_1$, entonces $N(t_0) \leq N(t_1)$, esto implica que $N(t)$ es creciente en t

5.2.3. Proceso de Poisson

Se define como un proceso de conteo $\{N(t), t \geq 0\}$ con parámetro o intensidad $\lambda > 0$, en donde, el parámetro t corresponde a una sucesión de variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas con una distribución exponencial de parámetro λ (Petrov and Ernesto, 2008).

Por consiguiente, se definen las siguientes propiedades que dan soporte al proceso de poisson:

- **Incrementos Independientes:** Esta propiedad muestra que para intervalos de tiempos disjuntos, las variables aleatorias asociadas a las llegadas son independientes entre si. De esta manera, si se tienen los instantes $0 < t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$, entonces las variables aleatorias $N(t_1) - N(t_0)$, $N(t_2) - N(t_1)$, \dots , $N(t_n) - N(t_{n-1})$ las cuales representan el número de ocurrencias entre los intervalos $[t_i, t_{i+1}]$ con $i \in [0, n]$ son independientes entre si.
- **Incrementos Estacionarios:** Esta propiedad se desprende que para intervalos de tiempo de igual magnitud, la distribución de probabilidad es la misma, es decir, la distribución del número de llegadas se mantiene estable a lo largo del tiempo.
- **Propiedad de orden:** Esta propiedad muestra que en un intervalo de tiempo pequeño, la probabilidad que ocurran dos o más eventos de manera simultanea es despreciable, respecto a que ocurra un evento. (ver demostración en apéndice A.3). De esta propiedad también se puede concluir que el número de ocurrencias por intervalo de tiempo o intensidad, es el parámetro λ

En suma, se puede concluir que el proceso de poisson tiene la característica que su distribución corresponde a una de poisson de parámetro $N(t) \sim Poisson(\lambda t)$.

$$\mathbb{P}(N(t) = K) = \frac{(\lambda t)^K e^{-\lambda t}}{K!} \quad (5.3)$$

5.2.3.1. Proceso de Poisson: Tiempo entre eventos

Tal como se menciona en la definición del proceso de poisson, existe una característica relevante sobre la distribución entre los tiempo de ocurrencia del evento a estudiar. En particular, estos son una variable aleatoria iid con distribución exponencial de parámetro λ .

$$F_x(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (5.4)$$

Esta distribución tiene una propiedad relevante llamada "*Falta de memoria*", lo cual provoca que cualquier instante del proceso es independiente de lo que ha ocurrido previamente. Esto refuerza las propiedades del proceso de poisson; incrementos estacionarios e independientes. Ver en el apéndice A.4 la demostración de esta propiedad.

5.2.4. Proceso Markov

Un proceso estocástico, $\{N(t), t \geq 0\}$, se dice que es un proceso markoviano si cumple las siguientes propiedades:

- **Propiedad Marcoviana:** Esta propiedad muestra que para un proceso estocástico markoviano, si conoce la "*historia*" del proceso en $[0, t]$, la distribución de probabilidades de $N(t + 1)$ sólo dependerá del estado anterior $N(t)$, cumpliéndose de esta manera la propiedad de "*falta de memoria*" de la distribución exponencial. Notemos que esta propiedad se cumple para procesos estocásticos de tiempo continuo y discreto, en la definición anterior, se generaliza a un intervalo cerrado de $[0, t]$, el cual puede tomar valores continuos o discretos.

$$\mathbb{P}(N(t + 1) = j \mid N(t) = i, N(t - 1) = i_{t-1}, \dots, N(0) = i_0) = \mathbb{P}(N(t + 1) = j \mid N(t) = i) \quad (5.5)$$

- **Propiedad estacionaria:** Muestra que la probabilidad de $\mathbb{P}(N(t + h) = j \mid N(t) = i)$ sólo depende de i, j, h , pero no de t .

Se puede concluir que el proceso markoviano es una generalización de los conceptos previamente vistos de proceso de poisson, en el cual relaciona llegadas al sistema mediante un proceso de poisson, y tiempo entre eventos con distribución exponencial. Así mismo, reafirma la propiedad de "*falta de memoria*" en su propiedad markoviana.

5.2.5. Sistemas de Espera basados en un Proceso de Nacimiento y Muerte

Hasta el momento, se han presentado procesos estocásticos para describir el proceso de llegada a un sistema. Ahora bien, este tipo de modelos no logran explicar la fenomenología de algunos sistemas de espera, en donde existe la posibilidad que el número de elementos que está presente en el sistema pueda disminuir. Para modelar esto, existen procesos más generales llamado de nacimiento y muerte, el cual se describirá a continuación.

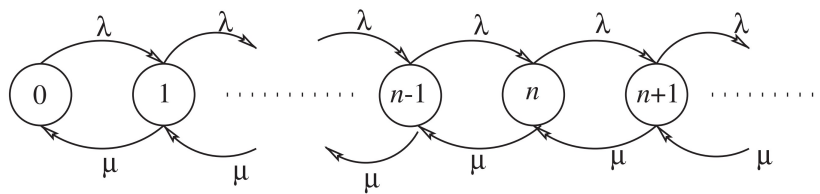
5.2.5.1. Proceso de nacimiento y muerte

Sea el proceso estocástico, $\{N(t), t \geq 0\}$, en donde $N(t)$ modela el número de elementos presente en el sistema al instante t . A su vez, se define el estado del sistema, como el valor que tiene la variable aleatoria en el instante t , como por ejemplo, $N(t) = i$. De esta manera, la variable $N(t)$ se puede caracterizar como la resta entre $B(t)$ llegadas al sistema y $D(t)$ salidas (muertes) del sistema.

$$N(t) = B(t) - D(t) \quad (5.6)$$

Notar que el proceso de nacimiento y muerte es compatible con lo descrito anteriormente, por lo tanto, la distribución de de las variables serán de tipo poisson, con tasa de llegada λ y tasa de salida μ . Este tipo de proceso cumple con las propiedades de los modelos markovianos, ver Anexo A.4. En la figura 5.8, se entrega un esquema de un proceso de nacimiento y muerte, el cual tiene la particularidad que las tasas de llegada y salidas del sistema son constantes.

Figura 5.8: Esquema Proceso nacimiento y muerte a tasas de llegada y salida constante



Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

Finalmente, con la ecuación 5.7 se establece una relación para los valores de probabilidades, en particular, se muestra la probabilidad que el sistema se encuentre vacío. Notar que esta ecuación sólo depende la tasa de salida y de atención de los clientes. Notar que esta formula es independiente la rutina de atención de clientes.

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_{i-1}}{\mu_i}} \quad (5.7)$$

5.2.5.2. Caracterización de un sistema de espera: Notación sistemas de espera

Kendall (1953), en un artículo sobre teoría de colas creó una notación que permite estandarizar las características presentes en un sistema de espera. El objetivo de esta notación, es llevar a cabo una comparación más sencilla entre dos sistemas de espera, permitiendo obtener conclusiones más directas. A continuación, se presenta una breve descripción de la notación.

- X_1 : Corresponde a la distribución del tiempo entre llegadas al sistema.
- X_2 : Corresponde a la distribución de los tiempo de atención.
- X_3 : Número de servidores que funcionan en paralelo.
- X_4 : Corresponde a la capacidad máxima que puede alojar el sistema.

Hasta ahora se han presentado procesos markovianos en los cuales tienen como característica que los tiempos entre llegadas o salidas presentan una distribución exponencial. Sin embargo, es importante consignar que existen otras distribuciones de probabilidad que pueden describir el comportamiento de las llegadas o salidas del sistema. Dicho esto y, haciendo uso la notación de Kendall, aquellos modelos markovianos son simbolizados con la letra M , mientras que para el caso de distribuciones generales, serán simbolizados con la letra G . Cabe estos modelos con una distribución general son también llamados modelos "no markovianos", ya que no cuentan con la propiedad markoviana de la falta memoria sustentándose en un proceso estocástico de renovación.

5.2.5.3. Caracterización de un sistema de espera: Medidas de eficiencia sistema de espera

El concepto de eficiencia en un sistema de espera es sumamente, ya que permite relacionar los recursos del sistema con resultados empíricos de este. Por ejemplo, en el caso de un local de atención en donde existe la posibilidad de tener varias cajas de pagos, en horarios de baja afluencia de clientes es más eficiente habilitar menos cajas, ya que los tiempos de espera de los usuarios serán lo suficientemente grandes. En contra posición, en un bloque temporal de alta afluencia es más eficiente contar con más cajas atendiendo, de manera de disminuir la espera de los clientes y, reducir la posibilidad de que estos decidan no comprar. Este simple ejemplo muestra una forma eficiente de utilizar los recursos disponibles a fin de reducir los costos e impedir la fuga de clientes, es por ello que es necesario tener una correcta medición de indicadores claves que permitan describir el estado del sistema, de modo de tomar decisiones. A continuación, se presentan las medidas de eficiencia clásicas para un sistema de espera.

- L : Número total de *clientes* en el sistema
- L_q : Número medio de *clientes* en la cola
- W : Tiempo medio de permanencia de un *cliente* en el sistema

- W_q : Tiempo medio de permanencia de un *cliente* en la cola.

5.2.5.4. Caracterización de un sistema de espera: Relación de Little

Antes de continuar con la revisión de sobre los modelos de espera, es importante establecer las relaciones entre las medidas de eficiencias presentadas en el apartado anterior. Little (1961), demostró la relación entre las variables, logrando una relación bastante intuitiva entre estas. De hecho, es un resultado muy fácil de interpretar, como en el siguiente ejemplo: “En un sistema aumenta la tasa de llega de clientes λ , manteniendo sin variación la tasa de salida de este μ , es natural pensar que durante un transcurso de tiempo comenzará a incrementar el número de clientes en el sistema L , así como consecuentemente el número de personas que estarán esperando en la cola W ”.

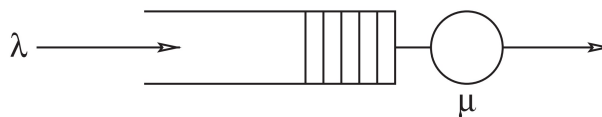
$$L = \lambda \cdot W \quad (5.8)$$

En el Anexo A.5 se presenta la demostración de la ecuación 5.8. Adicionalmente, es importante consignar que esta relación es independiente a la distribución del proceso de entrada o salida del sistema, así como también de otras características relevantes del sistema, como lo es la cantidad de servidores que se encuentran atendiendo o la disciplina de atención de la cola.

5.2.6. Sistemas de Espera M|M|1

Este tipo de modelo de espera sigue un proceso de nacimiento y muerte, con un solo recurso para atender el ingreso de clientes al sistema. En la figura 5.9, se presenta una representación del sistema, en donde los tiempos entre las llegadas y salidas se distribuyen de manera exponencial. En la tabla 5.2, se encuentran las medidas de eficiencia relevantes para un sistema de espera.

Figura 5.9: Diagrama proceso M|M|1



Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

Tabla 5.2: Medidas de eficiencia sistema M|M|1

L	L_q	W	W_q
$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$\frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$	$\frac{1}{\mu - \lambda}$	$\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, es relevante mencionar que la eficiencia de un sistema también se puede analizar en medidas de probabilidad, ya que estas mostrarán que tan probable es que esté lleno un sistema. Notar que estas medidas de probabilidad dependen de las tasas de llegada y salida del sistema. Naturalmente, en ambas expresiones que se presentan a continuación se debe cumplir que $\mu > \lambda$, ya que, en caso contrario el sistema colapsaría.

$$P_n(t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad (5.9)$$

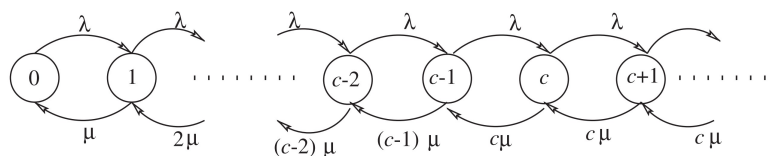
$$P_0(t) = \frac{1}{\sum_n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \quad (5.10)$$

5.2.7. Sistema de espera M|M|C

Este sistema de espera a diferencia del sistema anterior, ya que cuenta con c servidores en paralelo que atienden la llegada de los clientes. Es importante consignar, que los tiempo de atención en los servidores en paralelo presentan con una distribución iid de tipo exponencial de parámetro μ .

Ahora bien, el hecho de introducir c servidores con la misma distribución, hace que el sistema pueda tener capacidad ociosa de los servidores o en otras palabras no esté funcionando a su 100 %. Sin embargo, como se puede observar en la figura 5.10, existe ocasiones en el que sistema se encuentra con c usuarios, por lo tanto, la tasa efectiva de atención será $c\mu$. De esta manera, la tasa de salida en este tipo de sistemas se puede modelar en función de n , bajo la siguiente expresión.

Figura 5.10: Diagrama proceso M|M|c



Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

$$\mu(n) = \text{mín} \{n, c\} \mu, = \text{mín} \{\lambda, c\mu\} \quad (5.11)$$

Naturalmente, las expresiones para los indicadores para las medidas de eficiencia del sistema son más complejas en relación al modelo de un sólo servidor. ahora bien, para definir estar es primordial partir estudiando las medidas de probabilidad de un sistema, a continuación se presentan la expresión para su calculo. Es importante mencionar que al igual que el modelo anterior el factor de ocupación del sistema $\frac{\lambda}{c\mu}$ debe ser menor que 1 para que las siguientes expresiones no estén indefinidas.

$$P_n(t) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} & \text{si } 1 < n \leq c \\ \frac{\lambda^n}{c!c^{n-c}\mu} & \text{si } n > c \end{cases} \quad (5.12)$$

$$P_0(t) = \frac{1}{\sum_{n=0}^c \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} + \sum_{n=c+1}^{\infty} \frac{\lambda^n}{c!c^{n-c}\mu}} \quad (5.13)$$

Con la definición de estas medidas de probabilidad, en la siguiente tabla se presentan las relaciones para las medidas de eficiencia.

Tabla 5.3: Medidas de eficiencia sistema M|M|c

L	L_q	W	W_q
$\left[\frac{(\lambda\mu)^c \lambda\mu}{(c-1)!(c\mu\lambda)^2} \right] P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$	$\left[\frac{(\lambda\mu)^c \lambda\mu}{(c-1)!(c\mu\lambda)^2} \right] P_0$	$\left[\frac{(\lambda\mu)^c \mu}{(c-1)!(c\mu\lambda)^2} \right] P_0 + \frac{1}{\mu}$	$\left[\frac{(\lambda\mu)^c \mu}{(c-1)!(c\mu\lambda)^2} \right] P_0$

Fuente: Elaboración propia

Finalmente un caso interesante de analizar, es cuando el valor de c tiende a un número muy grande de servidores en paralelo, y en particular a $c \rightarrow \infty$. Es claro pensar que al tener un gran número de servidores, no existirá tiempo de espera en la cola, así como también cola. Ahora bien, el tiempo de permanencia de un cliente, será el tiempo se demora en ser atendido ($\frac{1}{\mu}$). Finalmente, en la distribución de probabilidades de este caso estarán dadas por la siguiente expresión.

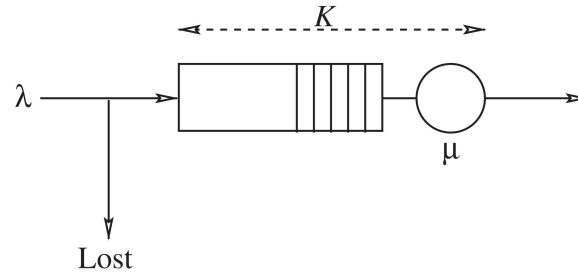
$$P_n(t) = \frac{\rho^n e^{-\rho}}{n!}, \text{ con } \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (5.14)$$

5.2.8. Sistema de espera M|M|1|k

Este modelo sigue un proceso de nacimiento y muerte, tal como los modelos previamente revisados. De esta manera, los clientes arriban en base a un proceso de Poisson con intensidad de llegada λ , mientras que el tiempo de atención se distribuye de manera exponencial con una media de tiempo de servicio $\frac{1}{\mu}$. Ahora bien, al analizar la notación de Kendall este sistema pareciera ser muy similar al modelo M|M|1 (5.2.6), salvo con la diferencia que este sistema presenta una cantidad máxima de clientes que pueden permanecer adentro. Por esta razón, una vez que llega el cliente $k+1$, el sistema no dejara que este entre provocando de esta manera una pérdida para el sistema, esto se puede observar en la siguiente figura.

No obstante, es importante consignar que aun cuando el sistema tenga una restricción de capacidad de clientes, estos continuaran llegando al sistema bajo la misma distribución. Como consecuencia de esto es importante diferenciar la tasa de llegada de clientes al sistema λ , con la tasa efectiva de ingreso al sistema λ_e . En la siguiente ecuación se define esto.

$$\lambda_e = \lambda(1 - P_k(t)) \quad (5.15)$$

Figura 5.11: Diagrama proceso M|M|1|k

Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

Ahora bien, respecto a la distribución de probabilidades del sistema, en las siguientes dos ecuaciones se mostrará una relación para su calculo.

$$P_0(t) = \begin{cases} \frac{1-\rho}{1-\rho^{k+1}} & \text{si } \lambda \neq \mu \\ \frac{1}{(k+1)} & \text{si } \lambda = \mu \end{cases} \quad (5.16)$$

$$P_n(t) = \frac{(1-\rho)\rho^n}{1-\rho^{k+1}} \quad (5.17)$$

Notar que la ecuación 5.17, es válida sólo si $0 \leq n \leq k$ y $\rho \neq 1$. En el caso de que el factor de ocupación del sistema ρ sea igual a 1, el valor de $P_n(t)$ será igual a la expresión presente en la segunda condición de la ecuación 5.16.

Finalmente, en las siguientes ecuaciones se presentan las medidas de eficiencia de este sistema, las cuales a fin de simplificación de su escritura están en función del total de clientes del sistema L .

$$L = \frac{\rho [1 - (k+1)\rho^k + k\rho^{k+1}]}{(1-\rho)(1-\rho^{k+1})} \quad (5.18)$$

$$L_q = L - \frac{\rho(1-\rho^k)}{1-\rho^{k+1}}, \quad (5.19)$$

$$W = \frac{1}{\lambda_e} L, \quad W_q = W - \frac{1}{\mu} \quad (5.20)$$

5.2.9. Sistemas de Espera basado en un Proceso de Renovación

Hasta el momento se han presentado modelos markvianos, en donde el proceso de llegada sigue una distribución de poisson, mientras que los tiempos de atención (salida) presentan una distribución exponencial. Sin embargo, existen estos supuestos no son realistas al momento de analizar ciertos modelos

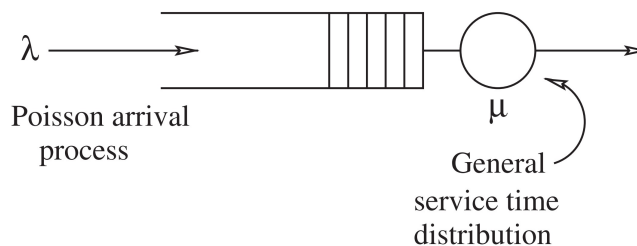
que pueden contener otras distribuciones de probabilidad tanto para las llegadas de clientes al sistema, así como para los tiempos de atención. Ahora bien, es importante mencionar que con una distribución general de probabilidades, no se cumple la propiedad de falta de memoria, por lo tanto, cada vez que se produzca un evento, ya sea una llegada o salida del sistema el proceso se renovará.

A continuación, se expondrán dos modelos sobre procesos de renovación, en donde sólo uno de los procesos (entrada o salida) seguirá una distribución general. El principal objetivo de esto, es dar una intuición de su funcionamiento, ya que los modelos tipo $G|G|c|k$, no se comportan como una cadena de markov, de hecho hay que recurrir a métodos de análisis más avanzados como el uso de ecuaciones integrales de Lindsley (Stewart, 2009).

5.2.10. Sistema de espera M|G|1

Dada la descripción de Kendall para este modelo, se tiene que el proceso de llegada tiene una distribución de Poisson, pero el tiempo de atención de los clientes sigue una distribución de probabilidades general, tal como se puede observar en la figura 5.12.

Figura 5.12: Diagrama proceso M|G|1



Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

De esta manera, para el modelar el proceso se define a $X(t)$ como la cantidad de personas en el sistema en el instante t . Notar que $X(t)$ no es una cadena de Markov, pero es posible moldearla como proceso de renovación:

- Sea $X_n(t)$ la cantidad de clientes que hay en el sistema justa en el instante de salida de la n -ésima persona.
- sea $Y_{n+1}(t)$ la cantidad de personas que llegan durante el servicio del $(n+1)$ -ésimo cliente.

Entonces con esto,

$$X_{n+1}(t) = \begin{cases} Y_{n+1} & \text{si } X_n = 0 \\ X_n + Y_{n+1} - 1 & \text{si } X_n > 0 \end{cases} \quad (5.21)$$

Notar que a diferencia de X_n, X_{n+1} si es una cadena de markov discreta por lo tanto se puede obtener una distribución de probabilidades asociada a esta (Duarte E., 2004). Sin embargo, los cálculos para es obtener esta distribución de probabilidades son bastantes complejos, por lo cual es más eficiente hacer uso de la fórmula de Pollacsek-Khinchin enunciada a continuación.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbb{E}(X_n) = \lambda \mathbb{E}(S) + \frac{\lambda^2 \mathbb{E}(S^2)}{2(1 - \lambda \mathbb{E}(s))} \quad (5.22)$$

Es importante, mencionar que $\mathbb{E}(s)$ corresponde al tiempo medio de atención. De esta ecuación, se pueden obtener las medidas de eficiencia del modelo. En el capítulo 14 de Stewart (2009), se realiza la demostración algebraica de las siguientes relaciones que se muestran a continuación.

Tabla 5.4: Medidas de eficiencia sistema M|G|1

L	L_q	W	W_q
$\rho + \frac{\lambda^2 \mathbb{E}(S^2)}{2(1-\rho)}$	$\frac{\lambda^2 \mathbb{E}(S^2)}{2(1-\rho)}$	$\frac{1}{\mu} + \frac{\lambda[(1/\mu)^2 + \sigma_s^2]}{2(1-\lambda/\mu)}$	$\frac{\lambda^2 \mathbb{E}(S^2)}{2(1-\rho)}$

Fuente: Elaboración propia

5.2.11. Caracterización modelo de espera para un canal de denuncias

Hasta ahora se realizado una revisión general de los sistemas de espera, sin abordar una aplicación real de estos conceptos presentados, de esta manera, a continuación, se aplicará un modelo de espera a un canal de denuncias.

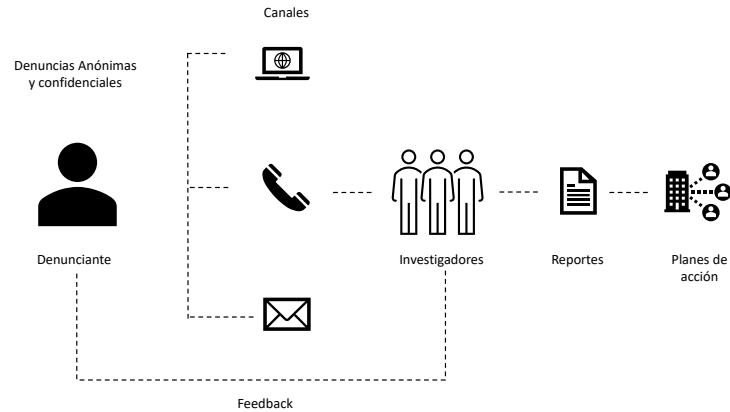
En primer lugar, es importante relacionar las variables que describen un canal de denuncias con las medidas de eficiencia modeladas en el estado del arte, de esta manera:

- (a) **Número esperado de clientes en el sistema L :** Corresponderán a todos los “casos” que se encuentre en proceso de cierre, o a espera que sean revisados por un especialista.
- (b) **Número medio de clientes en la cola L_q :** Representan en valor de las denuncias que se encuentran en espera de revisión (“backlog”).
- (c) **Tiempo medio de permanencia de un cliente en el sistema W :** Corresponden a la media del tiempo total que requiere cerrar un caso. Notar que este tiempo total, incluye el tiempo que estuvo la denuncia en “backlog”.
- (d) **Tiempo medio de permanencia de un cliente en la cola W_q :** Representa el tiempo promedio de una denuncia permanece a espera de investigación.

Con lo anterior, es claro que λ será la tasa de ingreso de denuncias al sistema, mientras que, μ corresponderá a la tasa de atención de denuncias.

Un aspecto del importante del funcionamiento de los canales de denuncias es revisar todas las denuncias que ingresan al canal, lo cual, sumado a que gran parte de las denuncias se realizan mediante vía web, es que el sistema no está condicionado a un número de denuncias en el sistema. En la figura 5.13 se presenta un diagrama sobre el proceso de atención de una canal de denuncias de compliance.

Figura 5.13: Diagrama Canal de denuncias de compliance



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, de acuerdo a la notación de Kendall, el sistema tendría 3 características, las que dependerán si es un modelo markoviano (M|M|C) o sigue alguna distribución general el proceso de llegada y salida.

6 | Desarrollo de la Propuesta

6.1. Descripción del Problema

Luego de haber explorado el comportamiento de las variables críticas para describir la gestión de un canal de denuncias, así como la base teórica de los modelos de espera, existe la necesidad de determinar el número de “*investigadores*” indicados para llevar a cabo la labor de estudiar los casos que sean denunciados por medio del canal de denuncias. Para esto, es importante mencionar que no se cuenta con un patrón de ingreso o cierre de denuncias que permita modelar el comportamiento de un sistema real. Sin embargo, se establecerán los siguientes supuestos para llevar a cabo una modelación computacional que permita describir el estado del sistema en el mediano plazo. A continuación se definen estos tres supuestos.

- (a) **Tasa de llegada:** Se asumirá una distribución de tipo poisson para el proceso de llegada de denuncias al sistema.
- (b) **Tasa de cierre:** Se tomará como referencia los el valor promedio que tardan en cerrar los casos los investigadores entrevistados de Antofagasta Minerals, como parámetro de la distribución exponencial de los tiempos de cierre del sistema. Asumiendo esta manera, que sigue un proceso de poisson los cierres.
- (c) **Tiempos adicionales:** El valor temporal considerado por el modelo contempla el momento de ingreso, espera y atención. De esta manera, no se consideran por ejemplo el tiempo que puede tomar concretar una entrevista, así como otro elemento temporal que pudiera configurar un retraso en la respuesta al denunciante.

Notar que al simular el sistema al mediano plazo se podrán tener una fotografía más cercana a la realidad del comportamiento del sistema, ya que, las variables claves que se modelarán no se encontrarán en estado estacionario, por lo tanto, a lo largo de la simulación se podrá explotar otros indicadores relevantes, como lo es el tiempo máximo de atención de un cliente, que puedan aportar mayor relevancia que los valores en equilibrio de largo plazo. A continuación, se presenta una revisión de la industria minera, la cual será utilizada para realizar la simulación.

6.2. Industria Minera en Chile

La industria minera ha aportado al crecimiento económico de Chile, ya que por muchos años ha sido el motor de la actividad económica del país. En ese sentido, (SONAMI, 2016) indica que durante el sexenio (2006 - 2011), la minería contribuyó a cerca del 23,4 % de los ingresos fiscales, así como al 64,3 % de las exportaciones totales de Chile. Adicionalmente aportó de manera importante a la superación de la pobreza en las regiones mineras, elevando los ingresos y reduciendo la tasas de desempleo.

En la actualidad, según un informe de (Consejo Minero, 2022) la minería ha mantenido su relevancia en matriz productiva del país, de hecho, en el 2021 aportó una cifra histórica, con más de 9 mil millones de dólares a los ingresos fiscales de Chile. Así mismo, su participación en el producto interno bruto incrementó a un 14,6 %, justificado fundamentalmente por la reducción de la producción en el país producto la crisis del covid, así como mayores precios de las materias primas exportadas. No obstante, el aporte de la minería no solamente se resumen en el aporte fiscal, sino que también es un importante actor en los encadenamientos productivos, aportando desde el año 2018 un efecto multiplicador de un 80 % de su participación en PIB. Así mismo, la minería ha sido protagonista de la inversión en Chile, representando más del 16 % de la alocación de capital del país. Naturalmente, un efecto adicional ha sido la creciente participación en materia de ofertas laborales, generando directa o indirectamente cerca del 10 % de los puestos de trabajo de la economía.

Por otra parte, como se puede observar en la Tabla 6.1 la producción de Chile está enfocada fundamentalmente en la extracción de cobre, siendo el principal productor a nivel mundial con una participación de mercado de un 26 %, y un amplio porcentaje de las reservas mundiales, lo que deja a Chile en una posición estratégica de cara al desarrollo de esta industria. En cuanto a la valorización de la producción, naturalmente el cobre presenta el 91 % de la composición de las exportaciones mineras llevadas a cabo por el país (Consejo Minero, 2022).

Tabla 6.1: Producción y Reservas de Minerales de Chile

Mineral	Producción [TM]	P. Mercado	R. Mundial	R. Mundiales
Cobre	5,624 MM	26 %	1	23 %
Oro	34.3	1 %	>15	7 %
Plata	1	7 %	4	5 %
Molibdeno	49,427	17 %	2	9 %
Hierro	12 MM	0.75 %	>15	n.d

Fuente: Cifras actualizadas de la minería (Consejo Minero, 2022)

En cuanto a la operatividad de la gran minería, se encuentra tanto en organizaciones públicas y privadas. En relación a estas últimas, cabe destacar que actúan por lo general como conglomerados económicos realizan “*Joint ventures*” para la puesta en marcha de los proyectos mineros. Lo anterior, se debe a que iniciar un proyecto minero requiere una fuerte inversión de capital, por lo tanto el riesgo

a no diversificar de manera adecuada justifica esto. En la Tabla 6.2, se encuentra un resumen de las principales compañías mineras que operan en la gran minería del cobre, junto a organización minera que lo opera.

Tabla 6.2: Dotación Principales empresas productoras de la Gran Minería de Cobre

Grupo Operador	Complejo Minero/Compañía	Dotación	Total Grupo
Anglo American	Los Bronces	1941	2.291
	El Soldado	890	
Antofagasta Mineras	Los Pelambres	2041	21.119
	Centinela	5085	
	Antucoya	790	
	Záldivar	825	
Codelco	El Teniente	6824	55.585
	Chuquicamata	4925	
	División el Salvador	1578	
	División Andina	2106	
	Radomiro Tomic	1944	
	División Gabriela Mistral	940	
BHP	Escondida	S.I	S.I
	División Pampa Norte		
Anglo American & Xstrata Copper	Doña Inés de Collahuasi	5025	5.025
Freeport-Mc Mo Ran	El abra	1569	1.600
	La Candelaria	S.I	
Teck Resources	Quebrada Blanca	1355	1.674
	Carmen de andacollo	319	

Fuente: Elaboración propia a partir de (COCHILCO, 2010), (COCHILCO, 2022), (Anglo American, 2021), (Grupo Antofagasta Minerals, 2022), (CODELCO, 2022), (Compañía Minera Collahuasi, 2022), (Grupo Teck, 2022) y (Minera el Abra, 2021)

Nota: La columna "Total Grupo" considera la dotación contratista en caso de reportarla en sus informes de gestión.

6.3. Simulación computacional

Para llevar a cabo la simulación computacional se creará un script en lenguaje Python, que permita realizar de manera sencilla tanto la simulación de las N denuncias, como la oportuna validación de los resultados del modelo. Cabe destacar, que la lógica del script se basa en generar instancias aleatorias de una distribución exponencial, tanto para el tiempo entre llegadas, así como el tiempo de atención. Lógicamente, el valor de estas instancias dependerá de la intensidad de llegada y salida del sistema, pudiéndose estas modificarse de acuerdo con la necesidad de la simulación.

Con las instancias creadas, cada denuncia seguirá un ciclo en donde se guardará la información sobre su gestión en un diccionario. Para lograr esto, se añaden listas adicionales que permitan guardar cada elemento relevante de la simulación. Naturalmente, estas listas están relacionadas con variables de

interés para medir la calidad de atención del sistema, creando así las siguientes variables auxiliares.

- (a) **Tiempo_salida:** será la suma entre tiempo llegada más el tiempo de atención de cada denuncia i . Esta variable, también dependerá si el servidor está ocupado, con ello se crea una variable llamada **tiempo_previo_finalizacion**, la cual guarda el momento en que finalizó la denuncia $i - 1$
- (b) **Tiempo espera:** Corresponderá al valor absoluto entre tiempo total de la denuncia i , menos el tiempo de atención

Producto de la definición de las variables y, el esquema de la lógica del script es que se puede notar que las denuncias serán asignadas al servidor que le lleve el menor tiempo cerrar su denuncia, lo cual, implica que el investigador que se encuentra llevando a cabo un proceso de investigación de una denuncia, no recibirá otra en la medida que no finalice la investigación de la denuncia. Lógicamente el modelo no incorpora una particularidad del sistema real, en donde, los investigadores pueden llevar más de una investigación en paralelo. No obstante, es importante comentar que al utilizar esta condición el modelo puede cuantificar de mejor manera la utilización del sistema, y consecuentemente permitir decidir de manera adecuada el número de investigadores que se requerirán.

Ahora bien, para establecer las medidas de eficiencia así como el número de investigadores requeridos, se aplicará lo siguiente:

- **Número de denuncias en sistema y en cola:** Se añade un timeline auxiliar, el cual registra cada momento que llega una denuncia al sistema. De esta manera, se podrá agrupar por “n” grupos, permitiendo establecer el valor de probabilidad que existan “N” denuncias en el sistema. Lógicamente, esto permita calcular los valores según las siguientes formulas:

$$L = \sum_{n=0}^{1000} nP_n \quad (6.1)$$

$$L_q = \sum_{n=0}^{1000} (n - 1)P_n \quad (6.2)$$

- **Tiempo total de permanencia en el sistema y en la cola:** Para su cálculo se hace uso de las variables auxiliares creadas anteriormente, aplicando el valor esperado de las 1.000 observaciones para los tiempos_espera y, el tiempo_salida

Finalmente, es importante consignar que las variables de decisión de la simulación serán la cantidad de servidores C , las tasas λ y μ , así como la cantidad máxima de servidores a modelar $C_{\text{máx}}$. Esta última variable se incluye para que el output del modelo entregue una comparativa de los resultados del modelo target junto con otros que sean de interés comparar. Obviamente, lo anterior es compatible con las 1.000 instancias aleatorias que genera el modelo, ya que una vez que se cumple el ciclo, el script añade suma un

servidor extra, para correr el modelo nuevamente, hasta llegar al valor de $C_{m\acute{a}x}$.

6.3.1. Parámetros de la simulación

Como se puede notar en la Tabla 6.2, dentro de los grupos empresariales chilenos existe bastante variabilidad en la dotación. Ahora bien, a esta heterogeneidad, se incorpora que no todas las compañías incluyen a sus contratistas asociados a las áreas de proyectos dentro de sus reportes, lo que genera que en algunos casos exista una sub-estimación del valor real de los colaboradores que interactúan dentro de una operación. No obstante, de igual manera se pueden divisar tres cláster de empresas, la empresa “pequeña” con una dotación cercana a los 5.000 colaboradores, la compañías de mediano tamaño con cerca de 20.000 colaboradores y, por último las grandes corporaciones mineras como Codelco, que tienen cerca de 50.000 colaboradores a lo largo de sus operaciones.

Teniendo en cuenta esto, se modelarán tres tipos de empresas según la descripción anteriormente provista. Cabe destacar, que para las empresas tipo 1, se modelará un proyecto minero como los pelambres, centinela o Doña Inés de Collahuasi como empresa target, mientras que para organizaciones tipo 2 y 3, se estarán modelando empresas del tamaño del Grupo Antofagasta Minerals y Coldeco respectivamente.

Ahora bien, para establecer los valores anuales de denuncias D de cada tipo de organización, se hará uso de la ecuación (5.2) la que permite tener una relación entre el volumen de denuncias con el tamaño de la organización respecto a su dotación. Así mismo, para el valor de V_d de acuerdo a lo presentado por Penman C. & Brut A. (2022), se utiliza la medida de sensibilidad proporcional al tamaño de la organización. En la siguiente tabla, se encuentra el resumen de estos indicadores.

Tabla 6.3: Volumen de denuncias anual según tipo de organización a simular

Tipo Compañía	Dotación	$V_d(D)$	D [año]
Tipo 1	5.000	1,6	80
Tipo 2	25.000	0,9	225
Tipo 3	50.000	0,9	450

Fuente: Elaboración Propia

Respecto, al cálculo de la tasa de ingreso y cierre de denuncias, se tomarán en cuenta los supuestos 1 y 2, en donde la distribución llevará un proceso de poisson. Ahora bien, para el cálculo de estas tasas se utilizará una distancia temporal semanal. De esta manera, para el caso del ingreso de las denuncias al sistema, se considerarán 52 semanas, mientras que el para el valor del cierre de denuncias, se tomará en cuenta las 45 horas laborales destinadas a llevar acabo la jornada laboral en Chile. En la Tabla 6.4 se presenta los valores para cada una de los tipo de compañías a modelar.

Tabla 6.4: Parámetros para la simulación según tamaño de la empresa

Tipo Compañía	λ	μ
Tipo 1	2	1,2
Tipo 2	4	1,2
Tipo 3	9	1,2

Fuente: Elaboración Propia

6.3.2. Simulación organización tipo 1

I. Resultados Valores Teóricos

En la tabla 6.5, se puede notar que la cantidad de investigadores requeridos en el sistema serán 2, ya que con dicha cantidad se respetarán los tiempos de espera indicados según el benchmarking estudiado. Así mismo, se puede notar que el valor esperado de denuncias en el sistema L , no se reduce de manera considerable al agregar un servidor adicional e, incluso el hecho de agregarlo reduce la utilización del sistema ρ , por lo cual el sistema contaría con capacidad ociosa.

Tabla 6.5: Valores teóricos para organización tipo 1

Indicador	Número de servidores		
	$C = 2$	$C = 3$	$C = 4$
ρ	83 %	55 %	41 %
L	5,45	2,04	1,74
L_q	3,78	0,37	0,07
W	2,73	1,02	0,86
W_q	1,89	0,19	0,03
$\mathbb{P}(D = 0)$	9 %	17 %	19 %

Fuente: Elaboración Propia

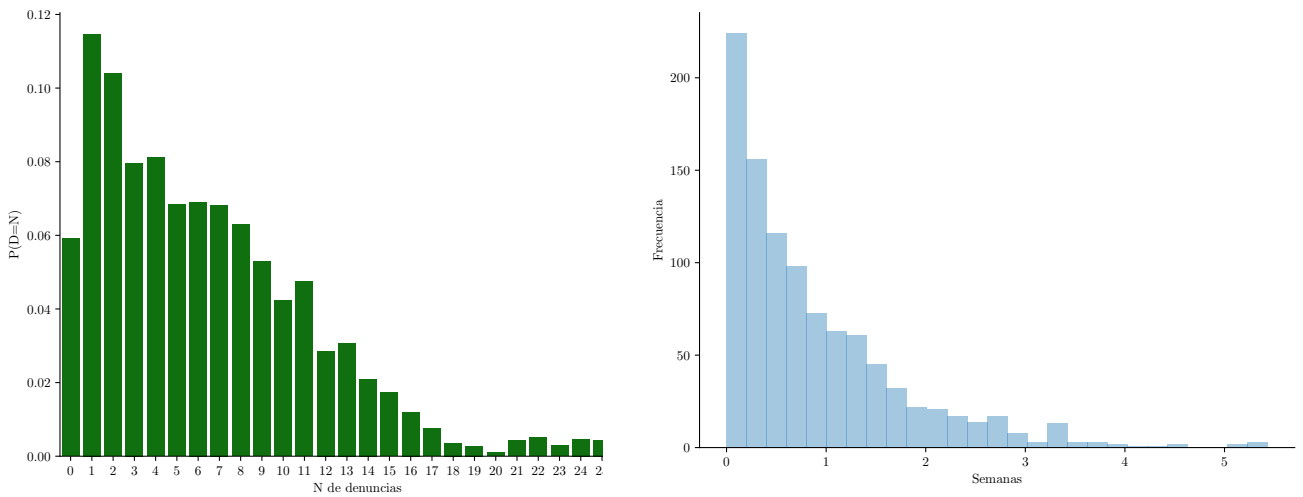
II. Resultados Simulación

La simulación reafirma de la decisión que para una firma tipo 1, es recomendable contar con 2 investigadores. No obstante, como se puede observar la ocupación del sistema en el mediano plazo alcanzará un 52 %, cifra mejor a al factor de ocupación teórico. Así mismo, se observa que el tiempo promedio de permanencia de una denuncia en el sistema W , ha incrementado en un 17,5 % en función del valor teórico. A pesar de este incremento las denuncias estarían siendo cerradas de acuerdo a los 39 días que indican el benchmarking.

Así mismo como se puede observar en la Figura 6.1a, la probabilidad del sistema esté vacío es menor al valor teórico de un 9 %. Este resultado es esperable al observar un aumento del valor esperado de denuncias en el sistema, el cual incrementó a un valor de 6.39.

Tabla 6.6: Resultados simulación organización tipo 1

Indicador	Número de servidores		
	$C = 2$	$C = 3$	$C = 4$
ρ	52 %	43 %	39 %
L	6,39	2,44	1,89
L_q	5,35	1,16	0,36
W	3,21	1,23	0,95
W_q	2,33	0,33	0,06

Figura 6.1: Resultado simulación organización tipo 1**(a)** Distribución probabilidad denuncias sistema M|M|2**(b)** Distribución Tiempos de atención sistema M|M|2

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, como se puede notar en la figura 6.1b el tiempo para cerrar una denuncia se concentra fundamentalmente entre 1 y 2 semanas. Sin embargo existen algunos tiempos de atención superiores a 3 semanas, provocando de esta manera que tiempo máximo de salida de este sistema sea 12,3 semanas. Sin embargo, tal como se modeló bajo un proceso de poisson se podría catalogar como un valor atípico

6.3.3. Simulación organización tipo 2

I. Resultados Valores Teóricos

De acuerdo a los valores teóricos para una organización de 25.000 colaboradores, y un volumen anual de 225 denuncias, se requieren 4 investigadores. Como se puede observar en la tabla 6.7, la utilización del servidor estará cerca de un 83 %, con un tiempo medio de atención de 1,65 semanas, y un valor esperado

de 6.62 denuncias en proceso de investigación o en backlog (en la cola del sistema).

Tabla 6.7: Valores teóricos para organización tipo 2

Indicador	Número de servidores		
	$C = 4$	$C = 5$	$C = 6$
ρ	83 %	66 %	55 %
L	6,62	3,98	3,51
L_q	3,28	0,65	0,18
W	1,65	0,99	0,88
W_q	0,82	0,16	0,04
$\mathbb{P}(D = 0)$	2 %	3 %	3 %

Fuente: Elaboración Propia

II. Resultados Simulación

El resultado de la simulación arroja que el valor óptimo de investigadores es 4, validando los resultados teóricos. No obstante, en la simulación la utilización del servidor alcanzará un 40 %, con un valor esperado de denuncias en el sistema de 7.64 y, tiempo de cierre promedio de 1.92 semanas. Es relevante considerar que, el backlog de denuncias L_q crecerá frente al valor teórico y, de hecho, al incorporar un investigador adicional la utilización del sistema incrementará hasta 46 %. Si bien, este colaborar extra reduce el backlog, el tiempo de cierre de denuncias W no se reduce de manera significativa, el mayor impacto está en la reducción de tiempo que está un denuncia en backlog.

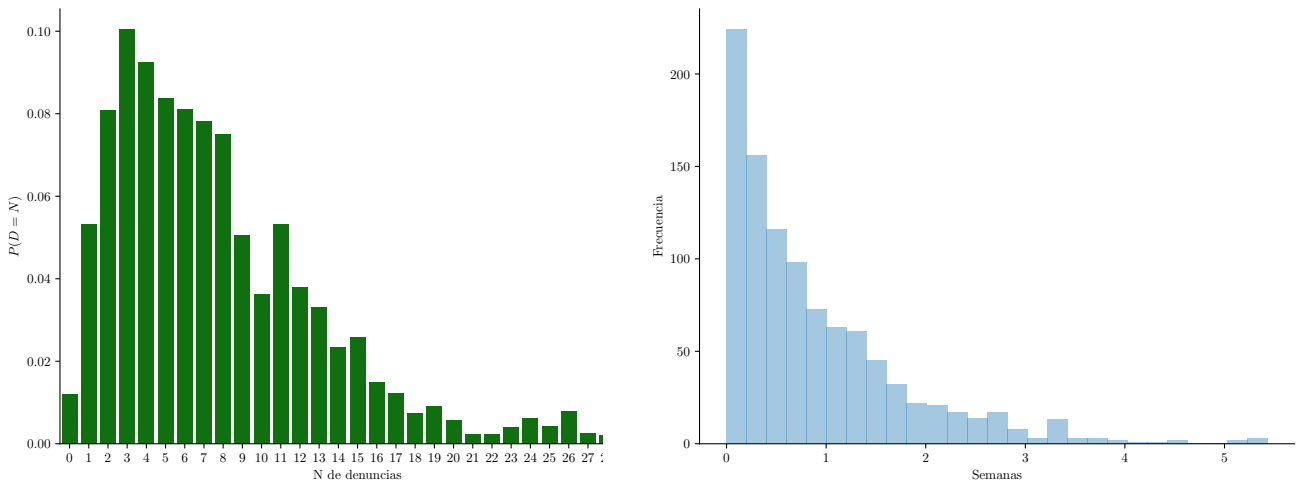
Tabla 6.8: Resultados simulación organización tipo 2

Indicador	Número de servidores		
	$C = 4$	$C = 5$	$C = 6$
ρ	39 %	46 %	49 %
L	7,64	4,65	3,87
L_q	6,09	2,32	0,96
W	1,92	1,17	0,97
W_q	1,03	0,28	0,08

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien, como se puede notar en la figura 6.2a la probabilidad de que el sistema este vacío es inferior al valor teórico, así mismo la distribución de probabilidades tiene un alta concentración sobre el valores de pertenecientes al intervalo $[23, 68]$, lo cual es esperable, ya que, el número esperado de denuncias en backlog (L_q) es de 7.64 . Por otra parte, en la figura 6.2b, el tiempo que lleva investigar una denuncia se concentra sobre el intervalo $]0, 1]$. Sin embargo, existe algunos valores atípicos, sobre 3 semanas que provocan que existan investigaciones con un tiempo de permanencia en el sistema (W) de 8.15 semanas.

Figura 6.2: Resultado simulación organización tipo 2



(a) Distribución probabilidad denuncias sistema M|M|4

(b) Distribución Tiempos de atención sistema M|M|4

Fuente: Elaboración Propia

6.3.4. Simulación organización tipo 3

I. Resultados Valores Teóricos

Como se puede observar en la tabla 6.9 el número óptimo de investigadores será 9, para una organización de 50.000 colaboradores, con un volumen anual de 450 denuncias. Ahora bien, teóricamente el servidor tendrá una utilización de un 83 %, con un tiempo promedio de cierre de denuncias (W) de 1,12 semanas, existiendo cerca de 10.1 denuncias en el servidor (L).

Tabla 6.9: Valores teóricos para organización tipo 3

Indicador	Número de servidores		
	$C = 9$	$C = 10$	$C = 11$
ρ	83 %	75 %	55 %
L	10,1	8,41	7,88
L_q	2,54	0,91	0,38
W	1,12	0,93	0,88
W_q	0,28	0,10	0,04
$\mathbb{P}(D = 0)$	0,04 %	0,04 %	0,05 %

Fuente: Elaboración Propia

II. Resultados Simulación

Se observa que el valor óptimo de colaboradores de simulación es 9, lo que reafirma los valores

teóricos. Ahora bien, es importante mencionar que a pesar que aumentar la utilización del servidor con 10 colaboradores, no existe justificativa para incorporar un colaborador extra ya que con 9 colaboradores, se puede hacer frente a las denuncias que se encuentre en backlog (L_q). Por otra parte, de acuerdo a los valores de la tabla 6.10, se observar que tiempo medio de cierre de una denuncia es de 1,23 semanas.

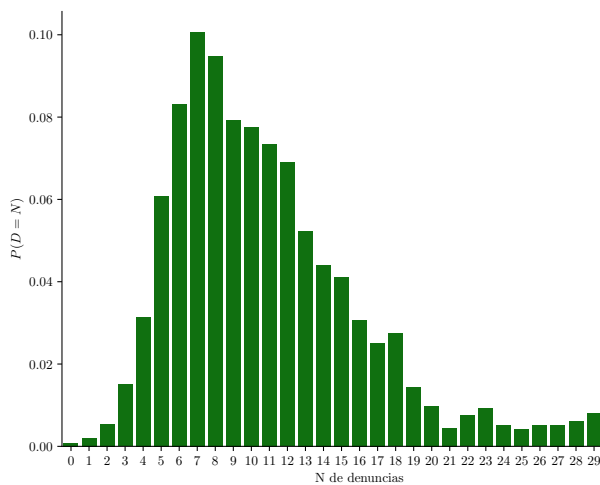
Tabla 6.10: Resultados simulación organización tipo 3

Indicador	Número de servidores		
	$C = 9$	$C = 10$	$C = 11$
ρ	41 %	52 %	56 %
L	10,9	9,30	8,53
L_q	7,25	4,13	2,35
W	1,23	1,05	0,96
W_q	0,34	0,16	0,07

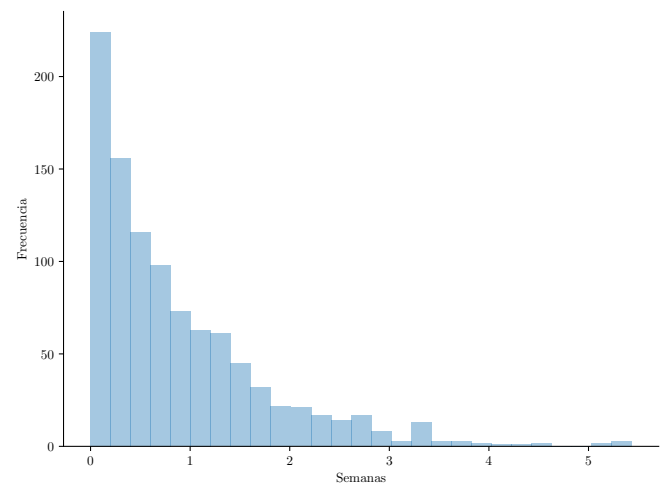
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, como se ha observado en las simulaciones anteriores a media que aumenta la tasa de ingreso de denuncias al sistema, la probabilidad de que este se encuentre vacío tiende a disminuir y, consecuentemente el valor esperado de las denuncias en el sistema L tiene a aumentar. En la figura 6.3a se observar que la probabilidad de denuncias en el sistema se concentra en el intervalo $[7, 10]$. Por otra parte, tal como en las otras simulaciones se observan valores atípicos para los tiempos que requieren una denuncia ser cerrada, lo que provoca que exista tiempo máximos de permanencia en el sistema (W) de 6,41 semanas (ver figura 6.3b)

Figura 6.3: Resultado simulación organización tipo 3



(a) Distribución probabilidad denuncias sistema M|M|9



(b) Distribución Tiempos de atención sistema M|M|9

Fuente: Elaboración Propia

6.3.5. Análisis y validación de resultados

Luego de obtener los resultados de la simulación para cada tipo de organización, es importante estimar si las inferencias de este modelo son estadísticamente consistentes. Para esto se realizará una validación de cada parámetros γ de la simulación, mediante una prueba de estimación de la media, con varianza desconocida, es decir, se hace uso de la prueba de t. A continuación, se establece el test de hipótesis general, en donde, es importante mencionar que todo los parámetros γ_i deben ser iguales al valor entregado por la simulación para que esta sea válida.

$$H_0 : \gamma_i = \mathbb{E}(X_i)$$

$$H_1 : \gamma_i \neq \mathbb{E}(X_i)$$

El resultado de la validación de la simulación arrojó que esta es válida para cada uno de las tipo de organizaciones, en el Anexo (A.7) se encuentra una tabla con el valor de probabilidad de cada parámetro. Adicionalmente, en la tabla (6.11) se presentan los intervalos de confianza para cada uno de los parámetros de la simulación.

Tabla 6.11: Intervalos de confianza al 95 % para los parámetros de la simulación

Organización	Parámetro	Valor esperado	Intervalo inf	Intervalo sup
Tipo 1	L	6.39	4.97	7.81
	L_q	5.35	3.96	6.74
	W	3.21	2.52	3.90
	W_q	2.33	1.65	3.01
Tipo 2	L	7.64	4.01	11.27
	L_q	6.64	2.86	9.32
	W	1.92	1.17	2.67
	W_q	1.03	0.31	1.75
Tipo 3	L	10.9	4.32	17.48
	L_q	7.25	0.62	13.88
	W	1.23	0.52	1.94
	W_q	0.34	-0.38	1.06

Fuente: Elaboración Propia

6.3.6. Sensibilización de los supuestos

En la sección (6.1), se enunciaron tres supuestos que permitirían modelar el sistema de gestión de denuncias de compliance. Cabe destacar que estos supuestos son bastantes claves para definir los indicadores de gestión de la simulación una vez que esta acabe. Naturalmente, como intervienen en el equilibrio de mediano plazo, ¿Qué pasaría si incrementara la tasa de ingreso de denuncias al canal?, ¿Qué pasaría con el equilibrio, si disminuye la cantidad de cierre de denuncias producto de un incremento en la dificultad de estas?. Para dar respuesta a estas preguntas se realiza una sensibilización de las variables λ y μ mediante un análisis de tipo *ceteris paribus*, es decir, se modificará el valor de una tasa a la vez, de modo de cuantificar el impacto de las demás variables que definen el estado de equilibrio del sistema en el mediano plazo.

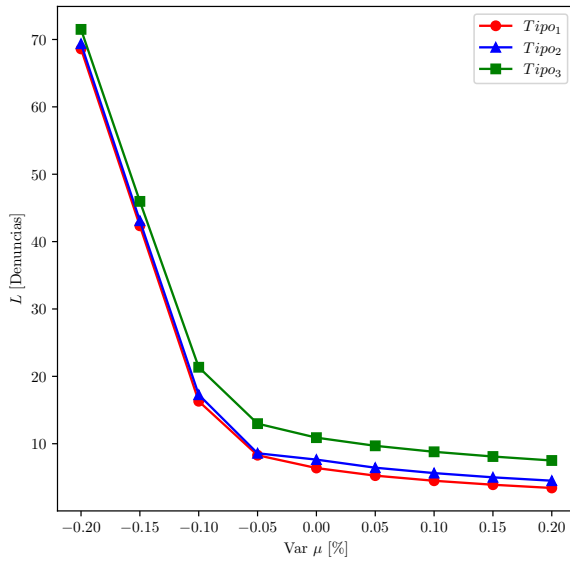
Cómo se puede observar en las figuras (6.4a y 6.4b), los sistemas para cada una de las organizaciones presentan mayor sensibilidad ante una disminución en la cantidad de casos cerrados μ , que frente aumentos de esta variable. De hecho, en ambas figuras se observa que a medida que disminuye el valor μ , los cambios proporcionales de las variables de interés L , W presentan mayores cambios en relación cuando aumenta la cantidad de casos cerrados. Así mismo, se observa que la organización tipo 1, es más sensible a cambios de μ , ya que con una disminución de esta variable experimenta mayores tiempo de atención que las otras organizaciones, lo cual, es natural ya que cuentan con menos recursos para atender el volumen de casos.

Ahora bien, en relación a variaciones en la tasa de ingreso del canal de denuncias λ , se observa un efecto directo para cada uno de los sistemas, es decir, frente un aumento en esta tasa, tanto el L como W aumentarán. Esto se puede observar en las figuras (6.5a y 6.5b), en donde, adicionalmente se puede constatar que el estado de equilibrio de los sistemas es más sensible frente a incrementos en la tasa de ingreso de denuncias al sistema, que a disminución de esta tasa. De hecho, cuando existen disminuciones de λ , los estados de equilibrio no tienen una variación de mayor magnitud. Respecto a al tipo de organizaciones, nuevamente la más sensible frente a cambios de las variables es la tipo 1.

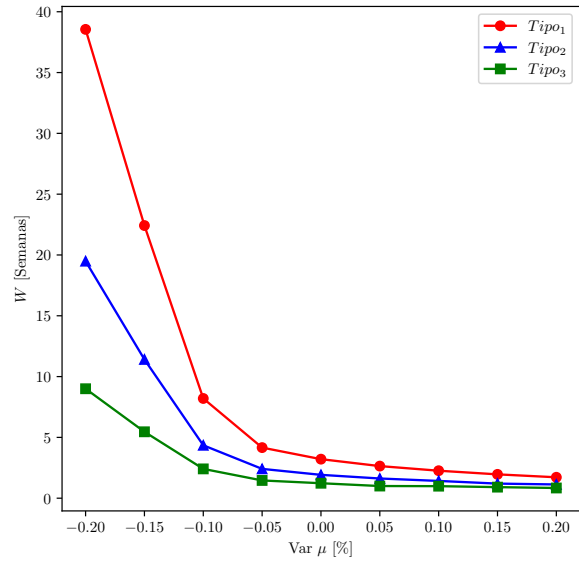
Finalmente, al analizar ambos efectos se puede concluir que una disminución en la cantidad de denuncias cerradas μ afecta más al equilibrio de los sistemas que aumentos en el volumen de denuncias λ . Esto se puede constatar para todo tipo de organización simulada, tanto para la variable L , como W , ya que como se puede observar, si el cierre de casos disminuye en un 20 %, el número esperado de denuncias será cercano a las 70 en todas las organizaciones, mientras que con un aumento de un 20 % en la cantidad de denuncias que ingresan, se observan niveles cercanos a 55 denuncias, con tiempos de atención más reducidos que el con la sensibilización de μ , en donde, la organización tipo 1 presenta en esperanza 38 semanas como tiempo promedio de permanencia de una denuncia en el sistema.

Ver en el anexo (A.8) el detalle de la sensibilización realizada.

Figura 6.4: Sensibilización de los sistemas respecto a la tasa de atención μ



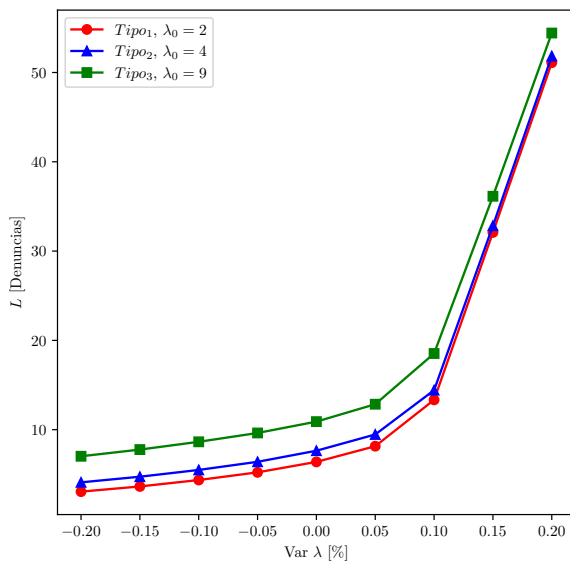
(a) Sensibilidad casos totales en el sistema L



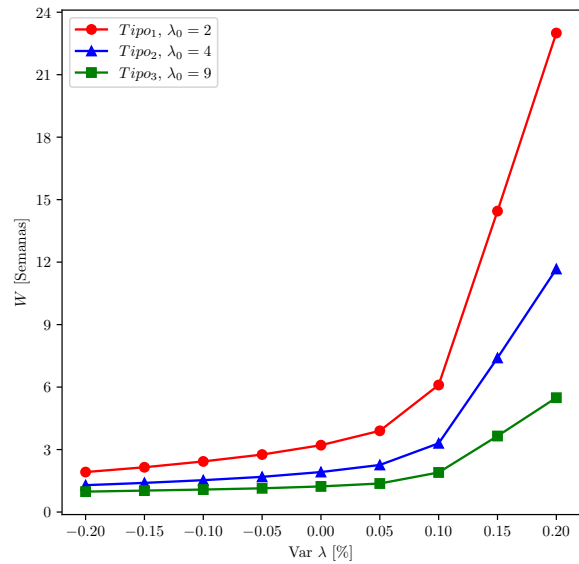
(b) Sensibilidad Tiempos de cierre de denuncias W

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6.5: Sensibilización de los sistemas respecto a la tasa de ingreso de denuncias λ



(a) Sensibilidad casos totales en el sistema L



(b) Sensibilidad Tiempos de cierre de denuncias W

Fuente: Elaboración Propia

6.4. Recomendaciones para la implementación

El siguiente apartado presentan aspectos claves para llevar a cabo una adecuada implementación de la gestión interna de las denuncias realizadas en un canal de denuncias. Como en toda implementación de una mejora organizacional debe existir una oportuna gestión del cambio en la firma, que permita validar sobre esta no sólo la necesidad de la mejora, sino que también demostrar el impacto positivo sobre la empresa al ejecutar el cambio.

A continuación se definen aspectos relevantes a considerar al momento de implementar la gestión interna de denuncias.

6.4.1. Definición de objetivos estratégicos y alcance de la propuesta

Hasta el momento, se analizado cuantitativa-mente el efecto de incorporar una propuesta de gestión interna de un canal de denuncias, mediante el diseño de un sistema basado en teoría de colas, pero la implementación es más que estimar la cantidad de investigadores requeridos para prestar un buen servicio, sino que es necesario definir objetivos que estén alineados y justifiquen la incorporación de este equipo a la compañía.

Una buena práctica para definir esto, es que el equipo de Compliance junto con la alta dirección se planteen las siguientes preguntas **¿Cuál es el objetivo de la implementación?, estos objetivos ¿Se encuentran alineados con la estrategia de organización?, ¿Cuáles son los resultados esperados?**. Realizar estas preguntas es un buen punto de partida para robustecer la propuesta y, luego comunicarla a todos los interesados.

Ahora bien, como recomendación en base a las estrategias de las compañías estudiadas (ver tabla 6.2), gran parte de las firmas tiene en su estrategia objetivos basados en establecer organizaciones e instituciones sólidas mediante un robusto gobierno corporativo. La propuesta, de incorporar colaboradores y agrandar el área de Compliance va en esta línea, ya que la organización contará con equipo interno que permitirá adquirir eficiencias propias de incorporar colaboradores, como lo son; formar cultura, costumbres y personificar los equipos a rostros que serán reconocibles por los colaboradores e interesados.

Así como alinear la implementación como parte de la estrategia de compañía es relevante definir los macro-objetivos de la implementación, dentro de los principales pueden estar:

- Tener mayor visión de los procesos de investigación, así como hallazgos que intervengan a establecer una organización más robusta.
- Asegurar una alta calidad en las investigaciones y entrega de conclusiones claras a los comités que sean presentados los casos.

- Definir medidas de re-mediación (Planes de acción) acorde a la realidad de la organización, que permitan disminuir las brechas detectadas.
- Asegurar una correcta implementación y seguimiento de los planes de acción definidos a partir de las conclusiones de los casos al momentos de su cierre.
- Contar con un mayor tratamiento y uso de la información en procesos que requieren alta confidencialidad.

6.4.2. Definición de Equipo y Recursos necesarios

En la sección (6.3), se simulo la cantidad requerida de investigadores para cada organización tipo 1, 2 y 3, en donde se requieren 2, 4 y 9 colaboradores respectivamente. Es fundamental que al momento del reclutamiento y selección del equipo de colaboradores no sólo se apueste por profesionales que tengan una visión o experiencia de la industria minera, sino que también atraer nuevos talentos a la industrias que pueden aportar sus vivencias en otras firmas. Adicionalmente con esto, la mayoría de los investigadores de compliance provienen de consultorías forenses, lo cual hace que probablemente no tengan mucho conocimiento de la cultura, valores y prácticas de la industria minera. Para hacer más fácil su incorporación a las labores que desempeñarán, es crucial que se les realice inducción especial a la minería, detallando aspectos culturales, turnos, visitas a la instalaciones.

Adicional a lo anterior, también es importante definir al personal clave de otras áreas funcionales con las que trabajarán, como lo son el área de Relaciones Laborales, Recursos Humanos, Legal, Asuntos Públicos, Finanzas, entre otras. Es clave mostrar a la organización que el modelo comprende un trabajo en equipo en base una visión multidisciplinaria que permitirá conclusiones más robustas.

Por otra parte, es crucial que la compañía cuente con un canal de denuncia propio que permita por diferentes medios como lo es, el correo electrónico, Llamada telefónica y plataforma Web realizar las denuncias, con los más altos estándares de confidencialidad y uso de la información. En caso que la organización cuente con un canal de denuncias propio, verificar que este cuente con todos los medios para realizar denuncias.

Finalmente, como detalla [Prelafit \(2013\)](#) es esencial que la compañía defina de manera clara y transparente las sanciones a las cuales estarán expuestos los colaboradores al infringir cualquier normativa interna, o la propia ley 20.393. Así mismo, la organización de acuerdo las leyes vigente y mejoras prácticas deberá definir para cada una de las tipologías un tiempo de cierre de casos lo cual deberá mayor a los 39 días, y en le caso, de las investigaciones de acoso sexual no deberá ser superior a los 30 días, ya que se requiere realizar una notificación a la inspección del trabajo con las conclusiones de la denuncia.

6.4.3. Plan de difusión

Luego de la definición de los objetivos estratégicos, así como los recursos necesarios para conseguir estos, es importante llevar a cabo una buena gestión del cambio. Para esto, es importante comunicar de manera oportuna sobre la nueva gestión de denuncias de la compañía, dejando claro a todos los interesados de esta mejora organizacional. Naturalmente, debe darse una comunicación efectiva y práctica sobre los cambios que experimentará el proceso, para esto, es aconsejable encabezar esta política hacia los liderazgos intermedios. Lo anterior se justifica debido a la alta verticalidad imperante en las organizaciones mineras, de esta manera, haciendo partícipes de la estrategia de los liderazgos intermedios hará mayor flujo de la información en la operación. Existen diversas instancias donde puede difundirse esta información, como es el inicio del turno, los liderazgos en terreno. Así mismo, esto se puede complementar con las jornadas de capacitación en faena llamada “8vo día”. Por otra parte, es fundamental que la exista también un despliegue de los investigadores en la operación minera, para que puedan presentarse a los colaboradores y tengan conocimiento que de ellos.

Es importante mencionar, que este plan también debe incluir conversaciones previas con los sindicatos de trabajadores explicándoles el motivo del cambio organizacional, poniendo énfasis en que el canal de denuncias es anónimo y sin represalias hacia los trabajadores que realicen unas denuncias. Es importante, mencionar los tiempos de investigación y las posibles sanciones que se exponen al infringir cualquier norma interna, en caso de que se haya modificado o creado este documento interno en la compañía.

Por otro lado, es clave que la información sea difundida hacia los trabajadores contratistas que trabajan en la operación. Para esta difusión, es aconsejable que se realice mediante el administrador de contrato como mensaje de alto nivel y, así como realizar una bajada de la información a nivel de turnos que operan dentro de la mina. Ahora bien, en cuando la difusión general es recomendable que se generen pendones para los espacios comunes, así como afiches para los lugares de descanso como lo es el campamento, para que los colaboradores tengan la información a fácil acceso para realizar consultas sobre el canal de denuncias, o bien, realizar una denuncia.

Finalmente, para que asegurar el cumplimiento a futuro es aconsejable que se desarrolle un “e-Learning” para la inducción de los nuevos colaboradores en el llamado proceso de “inducción de nuevo hombre” el cual contenga aspectos relevantes sobre Compliance, así como una difusión de como realizar denuncias. Así mismo, podría ser una buena opción desarrollar vídeos que den las instrucciones de ¿cómo?, ¿Dónde? Y ¿Por cuales motivos realizar una denuncia?, reforzando así mismo el canal de denuncias es un espacio para cualquier interesado.

6.4.4. Evaluación y Retroalimentación continua

Naturalmente para gestionar cualquier cambio, es fundamental medir mediante indicadores claves el impacto que ha traído la mejora organizacional. Así mismo, un adecuado uso de indicadores trae consigo adelantarse a posibles repercusiones que impacten en los objetivos estratégicos propuestos. Para esto, a continuación se establecerán una serie de indicadores que permitirán llevar una gestión de la implementación del modelo, tomando el aspecto de la difusión, así como calidad del servicio que deberá entregar el equipo de investigadores hacia los usuarios del canal. Con esto también, de cara a gestionar un buen servicio se debe aplicar un sistema de retroalimentación continua.

Indicadores de Gestión e Implementación

En primer lugar, un buen sistema debe asegurar una buena difusión sobre los colaboradores que trabajan en la compañía, ya sea mediante un contrato directo o siendo terceros. Así mismo, cualquier colaborador nuevo que ingrese a la compañía debe ser capacitado, en esta línea en la Tabla (6.12) se definen los indicadores con sus respectivas metas.

Tabla 6.12: Indicadores de difusión modelo y políticas corporativas referentes al compliance

Indicador	Descripción	frecuencia	Formula	Meta
Colaboradores capacitados	Colaboradores tomen conocimiento de la mejora organizacional	Sem	$\frac{Col_{cap}}{Dotacion} * 100$	100 %
N. Ingresos capacitados	Nuevos Ingresos sean capacitados con el sistema de gestión de compliance	Men	$\frac{N.I_{cap}}{N.I_{total}} * 100$	100 %
Completación E-learning	Colaboradores realicen el curso para realizar denuncias, así como otros aspectos de la ley 20.393.	Men	$\frac{Col.EC_{cap}}{N.I_{total}} * 100$	100 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.13: Indicadores de Gestión del servicio del canal de denuncias

Indicador	Descripción	frecuencia	Formula	Meta
Prom. Cierre	Tiempo Promedio de cierre de denuncias en días	Trimestral	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TD_i$	≤ 40
Ejecución Planes de acción	Porcentaje planes de acción implementados a tiempo	Trimestral	$\frac{Planes\ ejecutados}{Planes\ totales} * 100$	85 %
N. casos en reproceso	Porcentaje de denuncias en que el comité decide que está incompletas en su conclusión	Trimestral	$\frac{Denuncias\ Reproceso}{Denuncias\ Cerradas} * 100$	$> 10\%$

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la gestión del canal de denuncias, es importante que se ponga el foco sobre la calidad

del servicio que se está implementando. Naturalmente, como una nueva mejora organizacional se debe fortalecer no sólo los tiempos de cierre de las denuncias, sino también la calidad de las investigaciones y la ejecución de los planes de remediación ante las brechas detectadas, en la tabla (6.13) se encuentran estos indicadores junto con sus debidas metas.

Adicionalmente, es recomendable que se realice una revisión de la tasa de ingreso de denuncias al canal, así como la tasa promedio de denuncias cerradas. Esto es crucial para mantener un buen servicio del canal, ya que como se pudo observar en la sección sobre sensibilización (6.3.6), los modelos son sensibles a estas tasas, requiriendo la necesidad de incorporar colaboradores adicionales para cumplir con los tiempos de investigación.

Propuesta de Retroalimentación

Cualquier implementación e incluso sistema en una organización debe ser flexible ante las necesidades del entorno que lo demande. Con esto, es importante durante el proceso de implementación escuchar a los colaboradores frente a cualquier consultas o recomendaciones que realicen para llevar un adecuado proceso de adaptación. Así mismo, dentro de las mejores prácticas que establece ([World Compliance Association, 2021](#)) es que se les entregue a las áreas con mayores denuncias un reporte estadístico que permita gestionar mejor por ejemplo el clima laboral, brechas de seguridad o conocimientos propios de las políticas y buenas prácticas adoptas por la organización. Para esto, es recomendable que semestralmente se realice una “bajada de la información” a las áreas, de esta manera también se realizará una visualización dentro de la organización sobre el impacto positivo del área de compliance.

Finalmente, es importante que se mida paulatinamente el impacto de la implementación de la mejora organizacional en torno a compliance. Para realizar esto es recomendable que la compañía realice un estudio longitudinal, de modo de medir el impacto del cambio, así como posible brechas a corregir.

- (a). ¿Ud. Cree que la organización ha manifestado claramente lo que espera de usted en cuando su comportamiento ético?.
- (b). ¿Ud. Cree que la organización está comprometida como la ética y buenas prácticas empresariales?
- (c). En caso de presenciar un caso que infrinja las normas éticas de la compañías, así como algún delito ¿Ud. Lo reportaría?
- (d). ¿Ud. conoce el procedimiento formal para reportar un incidente ético?
- (e). ¿Ud. ha participado de alguna inducción, capacitación, charla sobre compliance dentro de la organización?
- (f). ¿Cuál es su percepción sobre la efectividad del canal de denuncias?

7 | Conclusiones

Durante el desarrollo de la memoria se consideró el desarrollo de un modelo de simulación estocástica que permitiera replicar el comportamiento de un canal de denuncias de Compliance. Para esto se exploró el comportamiento de variables claves que describen a un sistema de denuncias, llegando a la conclusión que existe una relación directa entre el tamaño de la organización y el volumen de denuncias, permitiendo describir esta última variable como función del tamaño de la organización. Adicionalmente, se estableció que en promedio para el cierre de una investigación se tardan 37,2 [Horas].

En efecto, mediante a los datos explorados se diseñó una simulación en Python basada en un sistema de espera markoviano M|M|C, que permitirá modelar la situación. Esta simulación, se realizó para tres tipos de organizaciones (1, 2 y 3) llegando a la solución de 2, 4 y 9 investigadores respectivamente. Estos resultados fueron validados con la aplicación del método de las replicas independiente, con un valor muestral de 271 iteraciones, así con la aplicación de un test de hipótesis para la media, concluyendo que cada uno de los indicadores son válidos estadísticamente con un 95 % de confianza.

Naturalmente, el hecho de simular un sistema M|M|C contempla varios supuestos como el valor de la intensidad de ingreso o salida del sistema (tasas λ e μ), la distribución de probabilidad del proceso, así como otros tiempos adicionales no considerados en la simulación. No obstante, se realizó una sensibilización para todos los supuestos del modelo, observándose que aumentos en los tiempo de atención (μ) juegan un papel más preponderante en afectar la cantidad de denuncias esperadas en el sistema (L) o el tiempo medio de cierre de casos (W) que el aumento de ingreso de denuncias al sistema (λ). Ahora bien, es importante mencionar que aumentos de esta última tasa en un 15 % traerían un colapso del sistema. En cuando a las organizaciones, se puede observar que la organización tipo 1 es la más sensible frente a cambios de en las tasas de atención y salida, lo cual es esperable debido a que presentan una fuerza de trabajo menor que los otros sistemas. Adicionalmente, se concluye que con una disminución en la tasa de atención de un 10 %, o un aumento de un 15 % en el volumen de ingreso de denuncias se requeriría un colaborador adicional para mantener los indicadores claves del canal de denuncias sobre valores aceptable de acuerdo con el benchmarking internacional estudiado.

En cuanto a la implementación de la mejora organizacional en una compañía minera, se recomienda

definir objetivos estratégicos alineados con establecer organizaciones e instituciones sólidas, ya que la mayoría de las empresas del sector ha alineado su estrategia en torno a este objetivo de desarrollo sostenible. Ahora bien, dentro los objetivos primordiales de esta mejora está tener mayor accountability del proceso, mejora en la respuesta en la atención e implementación de cierre de brechas detectadas. Para llevar a cabo esto, se requiere en primer lugar, contar con una cantidad de investigadores adecuada al volumen de denuncias, un canal de denuncias centralizado, normativa clara y divulgada en los colaboradores. Referente a este último punto, se aborda una propuesta de plan de difusión centrado en la minería, que aborda una campaña comunicacional, así como otros espacios de capacitación mediante la utilización de e-learning's y uso de las jornadas de capacitación en la minería como el llamado "8vo día". Para llevar a cabo este plan se definen indicadores claves tanto para el control de la capacitación, así como para la gestión de la atención del canal de denuncias. Adicionalmente se aborda una propuesta de retroalimentación continua mediante acercamiento a áreas críticas que tengan más denuncias, así como la realización de un estudio longitudinal con el objetivo de estudiar los cambios asociados a la mejora organizacional en términos de ética y cultura de la integridad.

Finalmente, el modelo puede ser aplicado para investigaciones posteriores en donde se requiera mejorar parte del proceso de gestión de denuncias. Para esto, es aconsejable que se cuente con información real del funcionamiento del sistema de modo, de reflejar de mejor manera el proceso estocástico asociado a la llegada y salida de denuncias del sistema. Ahora bien, a nivel metodológico, es importante que se realice un test de hipótesis para determinar la distribución de probabilidades del proceso de llegada y salida, así como corroborar la independencia de cada uno de los k-periodos estudiados. Lo anterior permitirá establecer de forma adecuada de las instancias aleatorias.

Bibliografía

- Abad, R. C. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. Netbiblo.
- ACFE (2019). In-house fraud investigation teams: 2019 benchmarking report. <https://www.acfe.com/fraud-resources/>. [Acceso Enero de 2023].
- Anglo American (2021). Reporte de sustentabilidad año 2020. <https://chile.angloamerican.com/>. [Acceso Enero de 2023].
- Astudillo, Schulz, Yáñez (2021). Cumplimiento normativo penal de las s.a en chile: Implicancias de la forma en que se adoptan sus decisiones para configuración del concepto de organización defectuosa en este entorno. <https://repositorio.uft.cl/>. [Acceso Noviembre de 2022].
- Benavente, Ibáñez, Muñoz (2019). Compliance herramienta preventiva para un buen gobierno corporativo. <https://repositorio.uft.cl/>. [Acceso Noviembre de 2022].
- Ching, W.-K. and Ng, M. K. (2006). Markov chains. *Models, algorithms and applications*.
- COCHILCO (2010). Leading mining companies: Estructura de propiedad de principales compañías mineras de cobre en chile. <https://www.cochilco.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- COCHILCO (2022). Reporte estadístico de la producción chilena de cobre: Periodo enero - noviembre de 2022. <https://www.cochilco.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- CODELCO (2022). Reporte de sustentabilidad año 2021. <https://www.codelco.com/>. [Acceso Enero de 2023].
- Compañía Minera Collahuasi (2022). Reporte de sustentabilidad año 2021. <https://www.collahuasi.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Consejo Minero (2022). Cifras actualizadas de la minería. <https://consejominero.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Diario Financiero (2022). Gigante glencore enfrenta cuestionamientos por ley anticorrupción en ee.uu. <https://www.df.cl/empresas/mineria/>. [Acceso Enero de 2023].

- Diario La Tercera (2022a). Fiscalía formalizará a larrain vial s.a y dos ejecutivos por “negligencia inexcusable” en un caso de lavado de activos. <https://www.latercera.com/pulso-pm/>. [Acceso Enero de 2023].
- Diario La Tercera (2022b). Operaciones sospechosas de lavado de activos al alza: suben casi 25 % en el primer semestre del 2022. <https://www.latercera.com/pulso-pm/>. [Acceso Febrero de 2023].
- Duarte E. (2004). Modelos estocásticos y de optimización para la gestión de un call center. <https://repositorio-usm-cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Grupo Antofagasta Minerals (2022). Reporte de sustentabilidad año 2021. <https://www.aminerals.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Grupo Teck (2022). Reporte de sustentabilidad año 2021. <https://www.teck.com/>. [Acceso Enero de 2023].
- Hernández, R., Fernández, C., and Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación sexta edición. *México DF: McGraw-Hill*.
- Hillier, F. S., Hillier, M. S., Schmedders, K., and Stephens, M. (2008). *Métodos cuantitativos para administración*. Number Sirsi) i9789701065327. McGraw-Hill Ciudad de México.
- Ibe, O. (2013). *Markov processes for stochastic modeling*. Newnes.
- José Ignacio Merino (2010). Anuario de derecho público, sección derecho internacional público. <https://derecho.udp.cl/>. [Acceso Diciembre de 2022].
- Kendall, D. G. (1953). Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded markov chain. *The Annals of Mathematical Statistics*, pages 338–354.
- Little, J. D. (1961). A proof for the queuing formula: $L = \lambda w$. *Operations research*, 9(3):383–387.
- Minera el Abra (2021). Reporte de gestión año 2020. <https://www.elabra.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Montes, F. (2007). Procesos estocásticos para ingenieros: Teoría y aplicaciones. *Univ. València*, 137.
- Penman C. & Brut A. (2022). 2021 risk & compliance incident management benchmark report. <https://www.navex.com/>. [Acceso Enero de 2023].
- Petrov, V. V. and Ernesto, M. P. (2008). *Teoría de la probabilidad*. Number 519.2 PET. Dirac.
- Peña & Piedra (2016). Programas de compliance: Análisis de la prevención normativa penal en Chile. <https://repositorio.uchile.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- Prelafit (2013). Elementos básicos del programa de compliance. <https://prelafit.cl/>. [Acceso Enero de 2023].
- SEGPRES (2016). *Elementos básicos para Modelos de Prevención de Delitos en Empresas Públicas - Ley 20.393*. Biblioteca Digital Gobierno de Chile.

SONAMI (2016). Chile país minero. <https://www.sonami.cl/>. [Acceso Enero de 2023].

Stewart, W. J. (2009). *Probability, Markov chains, queues, and simulation: the mathematical basis of performance modeling*. Princeton university press.

Universidad del Desarrollo (2021). Compliance en Chile: un 33 % de las empresas ha sancionado a trabajadores por incumplimientos en los últimos dos años. <http://www.derecho.udd.cl/>. [Acceso Enero de 2023].

World Compliance Association (2020). ¿qué es el compliance? <https://www.worldcomplianceassociation.com/>. [Acceso Diciembre de 2022].

World Compliance Association (2021). Elementos esenciales de un programa de compliance en el tercer sector. <https://www.worldcomplianceassociation.com/>. [Acceso Enero de 2023].

A | Anexos

A.1. Estimación de tiempos de cierre de investigaciones

Tabla A.1: Tiempos de investigación casos laborales

Horas destinadas casos laborales	
Tareas dependientes del # de entrevistas	27,9
Estimado # Entrevista x caso	9
Dependientes de # de entrevistas (Horas)	3,1
Tiempo de entrevista (Horas)	1
T Solicitud y revisión de antecedentes (Horas)	1
Tiempo de preparación de entrevista	0,5
Revisión, envío y correcciones de minutas entrevistas	0,6
Tareas puntuales	6,75
Tiempo de revisión de antecedentes iniciales	0,6
Tiempo de preparación de PPT del caso	5,3
Seguimiento y control de planes de acción	0,9
Totales	34,7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.2: Tiempos de investigación casos de Fraude

Horas destinadas caso fraude	
Tareas dependientes del # de entrevistas	17,5
Estimado # Entrevista x caso	5
Dependientes de # de entrevistas (Horas)	3,5
Tiempo de entrevista (Horas)	1,5
Tiempo de preparación de entrevista	1
Revisión, envío y correcciones de minutas entrevistas	1
Procesos puntuales	23
Tiempo de revisión de antecedentes	16
Tiempo de preparación de PPT del caso	6,9
Seguimiento y control de planes de acción	0,5
Totales	40,9

Fuente: Elaboración Propia

A.2. Proceso de Poisson: Propiedad de Orden

1. Notemos que la probabilidad que ocurra exactamente una vez el fenómeno a estudiar en el intervalo $[0, h]$ es $\mathbb{P}(N(h) = 1) = \lambda h + o(h)$. Este resultado es válido para cualquier valor de $h \in \mathbb{R}_0^+$
2. De esta manera, la probabilidad de que dos o más eventos se manifiesten en el intervalo $[0, h]$ es $\mathbb{P}(N(h) \geq 2) = o(h)$

Como consecuencia de los puntos anteriores, es claro que $\mathbb{P}(N(h) = 0) = 1 - \lambda h - o(h)$. De esta manera, la esperanza de ocurrencia del evento a analizar en un intervalo $[0, h]$ esta dado por la siguiente expresión:

$$\mathbb{E}(N(t+h) - N(t)) = \mathbb{E}(N(h)) = 0(1 - \lambda h - o(h)) + 1(\lambda h + o(h)) + o(h) \quad (\text{A.1})$$

Notemos que al tomar limite de la esperanza del evento por unidad de tiempo, cuando $h \rightarrow 0^+$ se obtiene que λ . De esta manera, este parámetro se puede interpretar como el número ocurrencias por unidad de tiempo.

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\mathbb{E}(N(h))}{h} = \frac{\lambda h + o(h)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \lambda + \frac{o(h)}{h} \quad (\text{A.2})$$

A.3. Proceso de Poisson: Distribución de los tiempos de llegada, falta de memoria

$$\mathbb{P}(Y > x) = \mathbb{P}(T_1 > s+x \mid T_1 > s) \quad (\text{A.3})$$

$$\frac{e^{-\lambda(s+x)}}{e^{-\lambda s}} = e^{-\lambda x} \quad (\text{A.4})$$

A.4. Propiedades: Proceso Nacimiento y Muerte

Cualquier transición de estado en un proceso de nacimiento y muerte cumple con la siguiente ecuación diferencial. Es importante también destacar que la probabilidad de que ocurra un nacimiento y muerte de manera simultanea en un instante t es cero, de esta manera, las llegadas y salida del sistema son individuales.

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -(\lambda_i + \mu_i)P_i(t) + \lambda_{i-1}P_{i-1}(t) + \mu_{i+1}P_{i+1}(t) \quad (\text{A.5})$$

Ahora bien, por definición un estado estacionario cumple con lo siguiente:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ij}(t) = P_i(t); \quad \frac{dP_i(t)}{dt} = 0 \quad (\text{A.6})$$

Notemos que la implicancia de la ecuación (A.6), permite generalizar la ecuación a.5 para cualquier estado i .

$$\lambda_i P_i(t) - \mu_{i+1} P_{i+1}(t) = \lambda_{i+1} P_{i-1}(t) - \mu_i P_i(t) \quad (\text{A.7})$$

Finalmente, mediante iteraciones se puede obtener una relación entre la probabilidad inicial y cualquier estado i . Es importante notar, que esta probabilidad P_0 , se puede interpretar como la probabilidad en la cual no existe espera, es decir, el sistema se encuentra vacío. Naturalmente, si $\lambda > \mu$ la expresión queda indefinida, ya que el sistema estaría colapsado, y la probabilidad de que el sistema este vacío tiende a 0. $P_0 \rightarrow 0$.

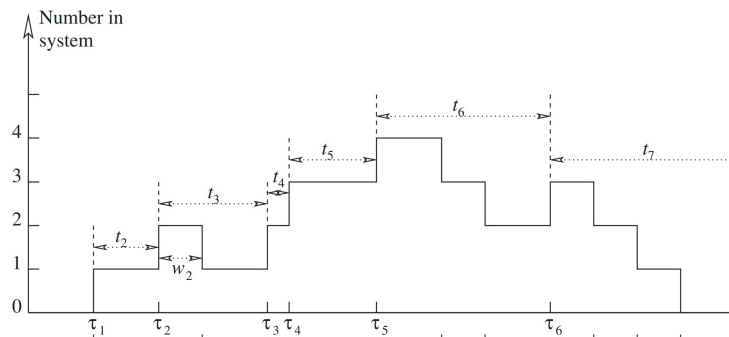
$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_{i-1}}{\mu_i}} \quad (\text{A.8})$$

A.5. Ecuación de Little

Se definen las siguientes variables que permitirán encontrar la relación presente en la ecuación de little.

- $X(T)$: Número de clientes en el sistema en el instante t
- W_i : Tiempo de permanencia del cliente $i \forall i \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$
- $N(T)$: La cantidad de clientes que han llegado en el intervalo $[0, t]$

Figura A.1: Número de clientes en el sistema a través del tiempo



Fuente: Probability, Markov Chains, Queues, And Simulation Stewart (2009)

Notar que para encontrar el número de clientes en el sistema en el instante t , se requiere integrar la cantidad de cliente unitarios por unidad de tiempo, hasta el instante t . Adicionalmente, mediante una análisis geométrico, la operación anterior es equivalente a la suma de los tiempos de permanencia de los clientes por unidad de tiempo. Dicho de otra manera, esto sería equivalente a realizar una suma del área de carácter vertical.

$$X(t) = \int_0^t \frac{X(u)}{t} dt \approx \sum_{i=1}^{N(t)} \frac{W_i}{t} \quad (\text{A.9})$$

Ahora bien, a la expresión (A.9) se aplica que el valor de de la variable tiempo tienda a infinito $t \rightarrow \infty$. De esta manera, el lado izquierdo y derecho de la ecuación tienen igual magnitud. Finalmente, se multiplica $N(t)/N(t)$ en la expresión de la derecha, de modo de relacionar las variables de la ecuación (A.9) con las medidas de eficiencia de un sistema de espera.

$$\underbrace{\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \frac{X(u)}{t} dt}_L = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{N(t)} \underbrace{\frac{W_i}{N(t)}}_W \cdot \underbrace{\frac{N(t)}{t}}_\lambda \quad (\text{A.10})$$

$$L = \lambda \cdot W \quad (\text{A.11})$$

A.6. Resultados Simulación

Listing A.1: Simulación organización tipo 1

Output:

Investigadores : 2

Tiempo entre llegadas : 0.5017701043803541

Tiempo de servicio : 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.5224126114731868

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 2.325638100000002

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 3.2140138999999997

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 5.352734731847115

Numero medio de clientes en el sistema (L): 6.397559954793489

Tiempos maximo de espera por un cliente: 11.0681

Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000

mean 2.325638

std 2.311074

min	0.000000
25 %	0.364100
50 %	1.672600
75 %	3.624625
max	11.068100

Estadística descriptiva tiempos de servicio	count	1000.000000
mean	0.888376	
std	0.889149	
min	0.000306	
25 %	0.245549	
50 %	0.610752	
75 %	1.254600	
max	5.433473	

Output:

Investigadores : 3

Tiempo entre llegadas : 0.5017701043803541

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.4277632851521316

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 0.3386474

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 1.2270232000000023

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 1.1600994390865906

Numero medio de clientes en el sistema (L): 2.4433892945429854

Tiempos maximo de espera por un cliente: 2.8081

Estadística descriptiva tiempo de espera:	count	1000.000000
mean	0.338647	
std	0.602196	
min	0.000000	
25 %	0.000000	
50 %	0.000000	
75 %	0.435600	
max	2.808100	

Estadística descriptiva tiempos de servicio	count	1000.000000
---	-------	-------------

mean	0.888376
std	0.889149
min	0.000306
25 %	0.245549
50 %	0.610752
75 %	1.254600
max	5.433473

Output:

Investigadores : 4

Tiempo entre llegadas : 0.5017701043803541

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.38963957414320866

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 0.06286309999999995

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 0.95123889999999996

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 0.33552126943582644

Numero medio de clientes en el sistema (L): 1.8940795660086611

Tiempos maximo de espera por un cliente: 1.2931

Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000

mean	0.062863
std	0.194387
min	0.000000
25 %	0.000000
50 %	0.000000
75 %	0.000000
max	1.293100

Estadistica descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000

mean	0.888376
std	0.889149
min	0.000306
25 %	0.245549
50 %	0.610752
75 %	1.254600
max	5.433473

Listing A.2: Simulación organización tipo 2

Output:

Investigadores : 4

Tiempo entre llegadas : 0.25088505219017704

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.38673899636529097

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 1.0338570000000002

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 1.9222327999999999

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 6.093958493295414

Numero medio de clientes en el sistema (L): 7.640914478756578

Tiempos maximo de espera por un cliente: 5.6649

Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000

mean 1.033857

std 1.182376

min 0.000000

25% 0.000000

50% 0.659000

75% 1.614600

max 5.664900

Estadistica descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000

mean 0.888376

std 0.889149

min 0.000306

25% 0.245549

50% 0.610752

75% 1.254600

max 5.433473

Output:

Investigadores : 5

Tiempo entre llegadas : 0.25088505219017704

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.46640183915070565

Tiempo medio de espera en la cola (W_q): 0.28220749999999967
 Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 1.17058330000000005
 Numero medio de clientes en la cola (L_q): 2.3236732563200917
 Numero medio de clientes en el sistema (L): 4.65568245207362
 Tiempos maximo de espera por un cliente: 3.0283
 Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000
 mean 0.282207
 std 0.539285
min 0.000000
 25% 0.000000
 50% 0.000000
 75% 0.338625
max 3.028300

Estadistica descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000
 mean 0.888376
 std 0.889149
min 0.000306
 25% 0.245549
 50% 0.610752
 75% 1.254600
max 5.433473

Output:

Investigadores : 6
 Tiempo entre llegadas : 0.25088505219017704
 Tiempo de servicio: 0.8883758566025172
 Utilizacion (c): 0.4847931134599219
 Tiempo medio de espera en la cola (W_q): 0.08475609999999999
 Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 0.97313189999999993
 Numero medio de clientes en la cola (L_q): 0.9639017407917344
 Numero medio de clientes en el sistema (L): 3.8726604215512657
 Tiempos maximo de espera por un cliente: 1.4027
 Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000
 mean 0.084756

```

std          0.226860
min        0.000000
25 %        0.000000
50 %        0.000000
75 %        0.000000
max       1.402700

```

```

Estadística descriptiva tiempos de servicio count    1000.000000
mean         0.888376
std          0.889149
min        0.000306
25 %        0.245549
50 %        0.610752
75 %        1.254600
max       5.433473

```

Listing A.3: Simulación organización tipo 3

Output:

Investigadores : 9

Tiempo entre llegadas : 0.1115044676400788

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.41008415239456425

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 0.34200669999999944

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 1.23038249999999993

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 7.2532833371141825

Numero medio de clientes en el sistema (L): 10.944040708665261

Tiempos maximo de espera por un cliente: 2.3892

```

Estadística descriptiva tiempo de espera: count    1000.000000
mean         0.342007
std          0.489573
min        0.000000
25 %        0.000000
50 %        0.110000
75 %        0.509150
max       2.389200

```

```

Estadística descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000
mean      0.888376
std       0.889149
min     0.000306
25%      0.245549
50%      0.610752
75%      1.254600
max    5.433473

```

Output:

Investigadores : 10

Tiempo entre llegadas : 0.1115044676400788

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.5167466873056753

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 0.15717850000000003

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 1.04555429999999994

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 4.132319175151343

Numero medio de clientes en el sistema (L): 9.299786048208096

Tiempos maximo de espera por un cliente: 1.6899

```

Estadística descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000
mean      0.157179
std       0.313771
min     0.000000
25%      0.000000
50%      0.000000
75%      0.188600
max    1.689900

```

```

Estadística descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000
mean      0.888376
std       0.889149
min     0.000306
25%      0.245549
50%      0.610752
75%      1.254600

```

max 5.433473

Output:

Investigadores : 11

Tiempo entre llegadas : 0.1115044676400788

Tiempo de servicio: 0.8883758566025172

Utilizacion (c): 0.5625500659728502

Tiempo medio de espera en la cola (Wq): 0.07108359999999996

Tiempo medio de permanencia en el sistema (W): 0.95945939999999999

Numero medio de clientes en la cola (Lq): 2.345824381608154

Numero medio de clientes en el sistema (L): 8.533875107309505

Tiempos maximo de espera por un cliente: 1.2081

Estadistica descriptiva tiempo de espera: count 1000.000000

mean 0.071084

std 0.187792

min 0.000000

25% 0.000000

50% 0.000000

75% 0.000000

max 1.208100

Estadistica descriptiva tiempos de servicio count 1000.000000

mean 0.888376

std 0.889149

min 0.000306

25% 0.245549

50% 0.610752

75% 1.254600

max 5.433473

A.7. Validación de la Simulación

A.8. Sensibilización de la Simulación

Tabla A.3: Resumen validación simulación ($t_{cri} = 1,96$)

Organización	Parámetro	$\mathbb{E}(\gamma_i)$	$\mathbb{E}(X_i)$	ee	t_i	$P - value$
Tipo 1	L	6.39	6.83	0.723	0.61	0.55
	L_q	5.35	5.09	0.704	0.37	0.71
	W	3.21	3.46	0.349	0.71	0.48
	W_q	2.33	2.58	0.344	0.72	0.47
Tipo 2	L	7.64	8.13	1.846	0.26	0.79
	L_q	6.09	4.62	1.639	0.90	0.37
	W	1.92	2.04	0.383	0.30	0.76
	W_q	1.03	1.16	0.365	0.35	0.73
Tipo 3	L	10.9	13.1	3.341	0.67	0.51
	L_q	7.25	5.2	3.366	0.60	0.55
	W	1.23	1.5	0.359	0.63	0.53
	W_q	0.34	0.6	0.366	0.65	0.51

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.4: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 1, respecto a μ

Var %	μ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	0.96	50 %	68.60	67.63	38.55	37.44
-15 %	1.02	50 %	42.34	41.34	22.42	21.37
-10 %	1.08	50 %	16.30	15.30	8.20	7.21
-5 %	1.14	52 %	8.29	7.25	4.16	3.23
0 %	1.20	52 %	6.39	5.35	3.21	2.33
5 %	1.26	52 %	5.26	4.23	2.64	1.80
10 %	1.32	50 %	4.50	3.49	2.26	1.46
15 %	1.38	50 %	3.91	2.91	1.96	1.19
20 %	1.44	34 %	3.43	2.45	1.72	0.98

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.5: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 1, respecto a λ

Var %	λ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	1.60	48 %	3.06	2.10	1.92	1.03
-15 %	1.70	49 %	3.64	2.65	2.15	1.26
-10 %	1.80	50 %	4.36	3.35	2.43	1.54
-5 %	1.90	51 %	5.22	4.19	2.76	1.87
0 %	2.00	52 %	6.39	5.35	3.21	2.33
5 %	2.10	52 %	8.15	7.11	3.90	3.01
10 %	2.20	51 %	13.34	12.33	6.10	5.21
15 %	2.30	50 %	32.09	31.09	14.45	13.56
20 %	2.40	50 %	51.10	50.10	23.00	22.10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.6: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 2, respecto a μ

Var %	μ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	0.96	26 %	69.37	68.63	19.49	18.38
-15 %	1.02	26 %	43.1	42.05	11.41	10.37
-10 %	1.08	28 %	17.27	16.16	4.35	3.36
-5 %	1.14	35 %	8.58	8.19	2.41	1.48
0 %	1.20	39 %	7.64	6.09	1.92	1.03
5 %	1.26	41 %	6.44	4.82	1.62	0.77
10 %	1.32	42 %	5.64	3.94	1.42	0.61
15 %	1.38	43 %	5.01	3.30	1.20	0.49
20 %	1.44	44 %	4.51	2.76	1.13	0.39

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.7: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 2, respecto a λ

Var %	λ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	3.20	44 %	4.10	2.32	1.29	0.40
-15 %	3.40	43 %	4.73	3	1.4	0.51
-10 %	3.60	43 %	5.49	3.78	1.53	0.65
-5 %	3.80	41 %	6.40	4.76	1.69	0.80
0 %	4.00	39 %	7.64	6.09	1.92	1.03
5 %	4.20	35 %	9.46	8.06	2.26	1.39
10 %	4.40	30 %	14.42	13.23	3.30	2.41
15 %	4.60	26 %	32.84	31.79	7.40	6.51
20 %	4.80	26 %	51.84	50.80	11.67	10.78

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.8: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 3, respecto a μ

Var %	μ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	0.96	14 %	71.50	70.33	9.00	7.89
-15 %	1.02	14 %	45.97	44.72	5.46	4.41
-10 %	1.08	17 %	21.35	19.86	2.41	1.42
-5 %	1.14	32 %	12.98	10.05	1.46	0.53
0 %	1.20	41 %	10.90	7.25	1.23	0.34
5 %	1.26	47 %	9.69	5.50	1.00	0.24
10 %	1.32	50 %	8.80	4.26	0.99	0.18
15 %	1.38	52 %	8.10	3.39	0.91	0.14
20 %	1.44	53 %	7.51	2.75	0.84	0.10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.9: Sensibilización estado de equilibrio organización tipo 3, respecto a λ

Var %	λ	ρ	L	L_q	W	W_q
-20 %	7.20	54 %	7.02	2.15	0.98	0.09
-15 %	7.65	53 %	7.77	3.03	1.03	0.14
-10 %	8.10	51 %	8.64	4.04	1.08	0.18
-5 %	8.55	47 %	9.63	5.42	1.14	0.25
0 %	9.00	41 %	10.90	7.25	1.23	0.34
5 %	9.45	33 %	12.85	9.87	1.37	0.49
10 %	9.90	20 %	18.53	16.72	1.90	1.00
15 %	10.35	14 %	36.14	34.88	3.65	2.76
20 %	10.80	13 %	54.42	53.18	5.49	4.60

Fuente: Elaboración Propia