

**Productividad en carguío y acarreo, con las personas  
como motor de cambio en minería digital.**

**Richard Leoncio Palape Torres  
INDIMIN CHILE  
Junio 2022**

<b>RESUMEN</b>	2
<b>1. Introducción</b>	3
<b>2. Objetivos</b>	4
2.1. Objetivos Generales	4
2.2. Objetivos Específicos	4
2.2.1. Fundamento conceptual	4
2.2.2. Implementación de la tecnología	4
2.2.3. Mejorar la productividad	4
2.2.4. Desafío Factor de Carga	4
2.2.5. Mejores prácticas operacionales	4
2.2.6. Usabilidad de la aplicación	5
<b>3. Fundamentación Conceptual</b>	5
3.1. Porqué no hay motivación por la implementación de Tecnología	5
3.2. Elementos que mejoran la motivación	6
3.2.1. Determinar las Metas	6
3.2.2. Realizar nuevas elecciones o decisiones	6
3.2.3. Pedir herramientas de Coaching	6
3.2.4. Salir de la zona de confort	6
3.2.5. Reconocer los buenos resultados	6
3.3. Algunos ejemplos de herramientas tecnológicas que persiguen motivar a las personas	6
3.4. Aplicación tecnológica, aplicando todos los elementos.	7
3.4.1 Menú Avance de Turno y Gestión Predictiva de Recursos	7
3.4.2. Perfil Digital: Patrones y oportunidades de mejora personalizada	8
3.4.3. Equipo de trabajo visión de oportunidades de mejora por grupo.	8
<b>4. Metodología de Trabajo</b>	8
4.1 Personas	8
4.2 Oportunidades	9
4.3 Desafíos de Excelencia Operacional	9
4.4 Implementación	9
4.5 Medición de impacto	9
<b>5. Población y Muestra</b>	10
<b>6. Forma de trabajo antes de la aplicación tecnológica</b>	10
<b>7. Resultado con implementación</b>	10
<b>8. Discusión de resultados</b>	11
<b>9. Recomendaciones</b>	12
<b>10. Conclusiones y reflexión final</b>	12

Productividad en carguío y acarreo, con las personas como motor de cambio en minería digital

**Richard Leoncio Palape Torres<sup>1</sup>, Álvaro Gonzalo Díaz Ríos<sup>2</sup>, Magdalena María Pinedo Swinburn<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> INDIMIN, Las Condes, Santiago, Chile (richard.palape@indimin.com)

<sup>2</sup> INDIMIN, Las Condes, Santiago, Chile (alvaro.diaz@indimin.com)

<sup>3</sup> INDIMIN, Las Condes, Santiago, Chile (magdalena.pinedo@indimin.com)

## RESUMEN

La tecnología, durante su implementación, no siempre logra el involucramiento y aceptación de las personas. Esto puede ser una declaración y foco de trabajo para todas aquellas empresas que se desempeñan en este ámbito de la industria, ya que habitualmente se invierten muchos recursos como económicos, personales generando altas expectativas durante el proceso de implementación. Si no se logra un involucramiento durante este proceso de las personas, la tecnología deja de ser usada con el tiempo por falta de comprensión, entusiasmo, motivación o la persistencia de las antiguas prácticas. Sin embargo al visualizar la tecnología como un catalizador para promover cambios y transformación de los procesos, es posible habilitarla en el uso y generación de conductas y hábitos positivos con propósitos múltiples.

La implementación de tecnología ofrece buenas soluciones y permite lograr grandes efectos en los procesos mineros, desde el punto de vista de la seguridad, eficiencia en la productividad e incluso calidad de vida de las personas; sin embargo, el par ordenado tecnología y personas debe estar balanceado. Es por ello, que debe lograr asimilarse de forma ser práctica y sencilla. En ese sentido, se deben realizar trabajos previos que ayuden a todas las personas involucradas lograr el claro entendimiento de los objetivos y metas que se quieren conseguir. Al realizar estos procesos de adopción de la tecnología se logrará generar procesos de gestión del cambio y transformación, que al final dan lugar a mejoras en niveles de producción, como optimización de los tiempos y aprendizaje de las personas, o poner foco en temas relevantes de seguridad, como las sobrecargas en camiones mineros.

El presente trabajo cuenta la experiencia, metodología y tecnología desarrollada en varios sitios por más de media década y profundiza en una de las minas a tajo abierto más importantes del mundo en cuanto a su eficiencia y productividad situándose a la vez dentro de las 10 más grandes en producción de cobre a nivel global.

En este nivel de operación se podría pensar que se encuentra todo bajo control; sin embargo, existen oportunidades de mejora para ir a un siguiente nivel al que llamamos Excelencia Operacional Digital. Como se relató, las tecnologías pueden parecer muy completas o robustas, pero normalmente no son adoptadas por los trabajadores. Esta falta de involucramiento tiene diversas causas tales como falta de empatía de parte de los proveedores de tecnología, poco entendimiento e involucramiento de los trabajadores o bajo entusiasmo que causa la tecnología en el día a día.

En este trabajo se muestra cómo se lograron solucionar dichos desafíos en el sitio minero en mención. Esto será demostrado mediante los resultados obtenidos en un área tan relevante para el negocio minero como es el de Carguío y Acarreo al implementar tecnología, práctica y directa. La solución implementada entrega variables e indicadores, pero solo las personas en la operación son los que pueden cambiar el resultado durante el turno, al trabajarlas en forma inmediata, luego de haber incurrido en una desviación, elemento clave para reducir la tan anhelada variabilidad de los procesos durante el SIC (Short Interval Control).

Por último, se demuestra también que al trabajar en una variable, se puede influir en el resultado final del proceso y lo vuelve sencillo para quien tiene múltiples tareas, como es el caso de un jefe de turno o supervisor de minas logrando a la vez colaboración con el equipo

de trabajo tales como despachadores, instructores y superintendencia generando mejoras adicionales más allá del desafío inicial habilitando en esencia a las personas como el motor de cambio.

### 1. Introducción

La minería 4.0 puede entenderse como una transformación, donde las personas generan nuevos procesos y adoptan nuevas herramientas en forma práctica, didáctica y útil para crear un cambio cultural en los diferentes equipos de trabajo. No considerar este enfoque puede limitar los objetivos que buscan diversas implementaciones. Hasta la fecha, el retraso de la adopción tecnológica se ha debido en buena parte a falencias en procesos de co diseño, nuevos modelos de gestión de desarrollo tecnológico y de gestión del cambio, que permiten a las organizaciones llevar en forma ordenada, considerando las condiciones propias de la organización y sus personas antes de embarcarse en cualquier transformación, no han logrado involucrar a las personas y presentándose elementos como resistencia al cambio, deficiencias de liderazgo, falta de involucramiento de los niveles ejecutivos, y grupos de trabajo empoderados que permitan implementaciones sostenibles.

Las soluciones digitales definitivamente pueden representar un desarrollo positivo; sin embargo, hay muchas preguntas que deben aclararse (Joel Löw, Lena Abrahamsson & Jan Johansson, 2019). El desarrollo tecnológico es necesario para mantener una compañía minera competitiva, pero requiere una correcta implementación para que no se creen más problemas de los que se resuelven. Dentro de las tres principales barreras que afronta la minería 4.0 se tienen: La falta de involucramiento activo del equipo ejecutivo, la baja usabilidad de la tecnología implementada y por último, la falta de una estrategia de control y seguimiento a la tecnología aplicada frente a la resistencia al cambio y al estrés cotidiano de cumplir metas en la operación minera.

Uno de los puntos que se busca demostrar en este trabajo técnico es que una aplicación tecnológica debe ser desarrollada con elementos multidisciplinarios. Por ejemplo, la antropología, ya que si se estudia a las personas que trabajan en minería nos podemos dar cuenta que tienen características específicas en

aspectos sociales y culturales. La historia las identifica con arquetipos, tales como personas duras, a veces parcas y muy trabajadoras, las cuales han tenido que evolucionar desde un trabajo rudimentario hasta el uso de la tecnología. Incluso con todo el desarrollo que existe hoy aún siguen estando atrasados en la implementación de tecnología comparados con otras industrias. Otro elemento importante es el factor psicológico. Los estados de ánimo de las personas en minería son cíclicos. La tecnología debe ser capaz de identificar patrones con ciclos a la baja y alta en el desempeño para combinar y gatillar mejores desempeños, ánimo, y atención de las personas durante las rutinas establecidas en las operaciones mineras. Se remarca así que con un enfoque multidisciplinario se puede lograr diferencias importantes frente aquellas herramientas tecnológicas que dan excesivo énfasis en ciencias de la ingeniería con los análisis estadísticos, diseño de procesos, o elementos de analítica avanzada entre otros.

Cuando intentamos exigir en la implementación de estas últimas herramientas mencionadas, por los medios tecnológicos que sean, es cuando se produce la desilusión y el desinterés de las personas que trabajan en operaciones, quienes finalmente terminan desechando la tecnología por falta de tiempo o por falta de comprensión.

Proponemos entonces en este caso que una combinación adecuada de profesionales, tecnologías y propósito puede ser una forma de cambiar el juego hacia un siguiente nivel de excelencia operacional. Este trabajo técnico profundiza entonces en cómo la creación de servicios digitales en este caso demostrados en una aplicación tecnológica específica, que reúne los conceptos anteriores, de forma útil y práctica logra gatillar la atención de las personas que la usan y genera un nuevo concepto de hábitos productivos, donde la búsqueda final es poder ayudar a los supervisores, operadores y otros agentes de la operación a buscar la optimización de su desempeño compitiendo primero consigo mismo, para potenciar sus fortalezas, cerrar brechas mejorando sus propias debilidades, recibiendo feedback personalizado y mejores prácticas desde sus propios colegas de trabajo apalancados con analítica avanzada.

Para demostrar el éxito del enfoque descrito previamente se comparará condiciones de trabajo antes y después de implementada la tecnología, lo cual al contrastar ambas realidades se observan importantes resultados de implementación, adopción y producción.

Finalmente, otro elemento importante a considerar es la sostenibilidad y reducción sostenida de la variabilidad de los procesos por medio de programas de desafíos digitales y metas a seguir.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivos Generales**

Demostrar que se pueden generar hábitos productivos y cambios culturales en personas a través de una aplicación gamificada, práctica y sencilla, que indica rápidamente donde están las desviaciones en forma grupal e individual, con KPIs específicos e indicadores directos de la gestión que se está desarrollando, junto con ello se trabaja en identificar aquellos indicadores más relevantes para la producción con lo cual se generan misiones y desafíos, recomendaciones predictivas y personalizadas, auto motivación y reconocimiento. A la vez al habilitar estas aplicaciones digitales con Inteligencia Artificial, es posible llegar a recomendaciones y análisis multivariable en línea que habilita un siguiente nivel de excelencia operacional.

Hoy en día la integración de datos, nuevas plataformas digitales y soporte remoto, ofrecen la oportunidad de tener una visión más integrada de los activos mineros y servicios de proveedores, mejorando sus capacidades para analizar y visualizar información en tiempo real, aumentando su eficiencia operacional de forma segura, confiable y sostenible.

Pero, más allá del enfoque en activos mineros y el proceso en sí mismo, se propone en el siguiente trabajo técnico; que una cultura de innovación para una minería sostenible implica descubrir, empoderar, y reforzar en forma colaborativamente comportamientos deseados, mejores prácticas y objetivos superiores de cara a la excelencia operacional, con un enfoque explícito y fuerte en las personas para mejorar la productividad de la operación.

### **2.2. Objetivos Específicos**

#### *2.2.1. Fundamento conceptual*

Dar a conocer en qué consiste la tecnología, como recoge los elementos desde el estudio de los seres humanos (Antropología), estudio de la Psicología y otras ciencias asociadas, para fusionarlas una aplicación tecnológica, útil y práctica, que les haga sentido a los actores de la operación, la puedan usar y mantener en el tiempo, para mejorar su gestión diaria.

#### *2.2.2. Implementación de la tecnología*

Dar a conocer la implementación de una aplicación digital en una mina a cielo abierto en el proceso de carguío y acarreo, la cual entrega información en línea a los principales actores de la operación, como jefes de turno, instructores, despachadores entre otros, Aplicando inteligencia artificial en la toma de decisiones, capaz de trazar las acciones de cierre de brechas y evaluando el impacto de las mismas, empoderando a los usuarios para mejorar sus hábitos productivos dentro de su rol.

#### *2.2.3. Mejorar la productividad*

Demostrar a la operación que a pesar de tener altos niveles de eficiencia, aún la metodología y tecnología implementada hasta la fecha, no logra capturar, controlar y mejorar, ciertos indicadores que son relevantes para el resultado de la producción, estas brechas por ejemplo y son las que se muestran en este trabajo técnico, pueden ser desde aumentar el rendimiento efectivo en camiones y palas eléctricas, mejorando las cargas óptimas y los tiempos de carguío, mejorar demoras en equipos de carguío, aquí se muestran resultados de mejoras en la productividad, accionando ciertos indicadores, los cuales tienen un potencial enorme al llevarlos a resultados de largo plazo, en un escenario de un antes y después de la implementación de la aplicación.

#### *2.2.4. Desafío Factor de Carga*

Mostrar los resultados que se obtuvieron, al trabajar con un indicador específico de la operación como es el factor de carga o llenado de los equipos de acarreo por parte de las palas, ver cual era la condición antes de este indicador, como por ejemplo; subcargas, sobrecargas, promedio, coeficiente de variación, tiempos de carguío, las oportunidades de mejorar la productividad al aumentar las subcargas por debajo del promedio y ver las oportunidades de mejoras en seguridad, sobreesfuerzo de los equipos de acarreo (fallas estructurales), daños a neumáticos y problemas mecánicos al mejorar las sobrecargas. Todo esto para disminuir la variabilidad del proceso con la definición de un factor de carga en rango óptimo de operación en el hora a hora y turno a turno.

#### *2.2.5. Mejores prácticas operacionales*

Indicar las brechas en prácticas operacionales, a través de feedback directo por parte de instructores, jefes de turno y Centro Integrado de Información (Despacho) a los operadores y entre áreas, gestión del cambio digital. Para conseguir mejoras reales en los operadores y grupos de trabajo, creando hábitos

productivos y en forma práctica y sencilla, reconociendo el buen trabajo e invitando a mejorar a quienes todavía les queda alguna oportunidad de mejora en su desempeño.

### 2.2.6. Usabilidad de la aplicación

Medir la usabilidad de las tecnologías aplicadas, ya que esto no solo demuestra la adopción lograda, sino también da señales o evidencia cómo los supervisores y otros usuarios la hacen parte de su tareas diarias, para gestionar el turno. También medir el grado de satisfacción que tiene cada usuario con la tecnología, por ello las encuestas y conversaciones son fundamentales para generar una buena gestión del cambio en el proceso de la cultura que se debe generar en aplicación de tecnología.

## 3. Fundamentación Conceptual

El fundamento conceptual del trabajo técnico desarrollado, está basado en demostrar que una herramienta de innovación tecnológica, que incorpora conceptos antropológicos y psicológicos de usuarios en minería, logra la generación de hábitos productivos, a través de la automotivación, considerando metas predictivas, desafíos y desempeños personalizados, que generan un buen entendimiento del equipo de trabajo y gestión del cambio, resultados de negocio y a la vez con un alto nivel de satisfacción de las personas involucradas.

### 3.1. Porqué no hay motivación por la implementación de Tecnología

En las últimas décadas, la relación entre la interacción hombre máquina ha ido cobrando cada vez más relevancia y ganando nuevas capacidades. Bajo este concepto esquemas o frameworks formales del tipo Human Computer interaction (HCI) se han hecho populares en la industria cubriendo múltiples espacios (Computational Rationality as a Theory of Interaction, Oulavistra, Jokinen, Howes 2022).

La simbiosis es cada vez más difusa y puede combinar diversas tecnologías de realidad aumentada (AR), elementos personales tales como wearables o impresión 3D entre otras.

A lo anterior se suman capacidades tecnológicas como Inteligencia Artificial (IA) la cual puede jugar un rol

amplificador de capacidades y funcionar como agente en la asistencia cotidiana de acciones por medio de una interfaz y experiencia de usuario práctica y de fácil uso. Bajo este escenario, es que se han ido potenciando herramientas metodológicas como People + AI de Google y otras tales como AI Product Design Process (MIT) con fases específicas para lograr productos que tengan sentido y persuadan el uso humano para hacerse cargo de activar acciones, automatizar procesos y asistir diversas situaciones o procesos.

También se han documentado que existen mejoras de productividad del 17% y mejoras en la rentabilidad del 21% (GMG global Mining Guidelines 2019, Gallup 2017 state of the global workforce), para los equipos de trabajo altamente comprometidos, en donde valores como flexibilidad, autonomía, comunicación y liderazgo juegan un rol preponderante para generar un compromiso sostenible de las personas.

Es importante considerar que en el actual contexto tecnológico y transformacional, las personas y equipos de trabajo van mutando sus roles y procesos en combinación con la tecnología. Es aquí donde elementos como la usabilidad, involucramiento, reconocimiento y colaboración se hacen cada vez más cruciales para maximizar la experiencia específica en procesos de alta especialización y otros procesos repetitivos que pueden ser automatizados o bien asistidos en distintos grados. Vale decir que en esta nueva generación de industrias 4.0 pasamos de una estrategia que por años fue Technology Push, hacia estrategias de creación de valor conjunto en que técnicas de codiseño e innovación tecnológica irán dando respuestas y a la vez abriendo nuevas preguntas ante estos procesos de cambio que vive la minería.

Existen además estudios que revelan una necesidad de reconocimiento y valoración individual en los roles de trabajo de los procesos mineros. Por ejemplo, el 48% de las personas declara no sentirse reconocida en su trabajo y no tener claridad sobre sus objetivos cotidianos (PwC Chile, 2016). Estos mismos desafíos o problemáticas han sido identificadas como fuentes de valor que pueden generar un gran impacto en los procesos industriales mineros, ver en la siguiente figura 3.1.



### 3.2. Elementos que mejoran la motivación

Un elemento esencial para trabajar con más eficiencia es la automotivación. Sin embargo, varias situaciones no esperadas o imprevistos pueden generar estados de ánimo negativos que influyen en el desempeño de las personas.

#### 3.2.1. Determinar las Metas

Este elemento figura de como esencial para lograr la motivación de las personas, sin embargo no siempre se mantiene de forma visible o baja granularmente a cada rol, cuenta con canales deficientes de comunicación habitualmente, por radio, afiches, a destiempo, con bajo entendimiento de parte de las personas y sin incorporar necesariamente los intereses de los trabajadores en cuanto a perseguir sus propias metas y desafíos.

#### 3.2.2. Realizar nuevas elecciones o decisiones

Una manera de refuerzo puede estar relacionada a realizar nuevas elecciones en función de los resultados obtenidos ó seguir buscando otras mejoras, analizando las brechas propias existentes con métricas objetivas.

#### 3.2.3. Pedir herramientas de Coaching

La visión externa y acompañamiento profesional desde miradas complementarias puede generar nuevas expectativas personales que motiven el aprendizaje

#### 3.2.4. Salir de la zona de confort

Habitualmente las personas permanecen en su zona de confort, repitiendo prácticas que finalmente limitan su desarrollo. En este caso fomentar la curiosidad y mejores prácticas puede ser de buen aporte.

#### 3.2.5. Reconocer los buenos resultados

El reconocimiento puede tener múltiples alternativas. En particular la manifestación física, un apretón de manos, un abrazo, mensajes públicos verbales, por el buen trabajo desarrollado e incluso por aquel que no ha sido bueno, pueden marcar un antes y un después al generar capital social y confianza en el equipo humano.

Se plantea así que la tecnología puede tener un rol clave en la forma, percepción y motivación en el trabajo al considerar en su diseño este tipo de elementos.

### 3.3. Algunos ejemplos de herramientas tecnológicas que persiguen motivar a las personas

A continuación se muestran algunas aplicaciones tecnológicas exitosas en el mercado, en la siguiente figura. Cada una de ellas tiene un fuerte enfoque



basado en data desde sensores y feedback personalizado, más un propósito a lograr y medición clara de objetivos.

El mercado de apps móviles se encuentra en una etapa en la cual existe una gran oferta de aplicaciones para la mejora de la actividad física. Según diversos estudios (Van Dantzig, Geleijnse & Van Halteren, 2013) queda claro que el uso de ciertas apps mejora la actividad física producto de la motivación generada desde las aplicaciones deportivas y la usabilidad de las mismas puede ser mejor aún en la medida que se le incorporan beneficios relacionados al bienestar de sus usuarios..

Se pueden mencionar algunas conocidas en el entorno latinoamericano como Fitbit, Strava o Betterfly. En estas aplicaciones, se fija una meta que debe ser cumplida por los usuarios. Este aspecto lúdico en el logro de objetivos es el que motiva a las personas y

genera así grandes cambios de conducta.. En ese sentido, se puede afirmar que el efecto de estas aplicaciones en los usuarios da lugar a una mejora en la actividad física lo cual repercute en la salud de los mismos.

Dentro del presente estudio se profundizaron los efectos de una metodología y tecnología que se puede relacionar a los procesos de de Excelencia Operacional y Gestión del cambio, los cuales al habilitarse digitalmente, en combinación con el uso de los conceptos de Human Computer Interaction (HCI) o diseño centrado en el usuario más el uso de Inteligencia artificial, pueden generar nuevas formas de movilizar la organización desde la hiper personalización del feedback hacia las personas en sus diversos roles, marcando así una transformación de los procesos, gatillada por los mismos expertos y usuarios en diversos contextos tanto de terreno, centros remotos o autonomía las cuales se combinan dependiendo cada caso.

### **3.4. Aplicación tecnológica, aplicando todos los elementos.**

Finalmente el fundamento conceptual, consiste en trabajar con una aplicación tecnológica, que involucre todos los conceptos descritos anteriormente, que van desde cómo crear la motivación en las personas, hasta usar conceptos de App Sport, las cuales hoy tienen un grado de aceptación, por el sentido que tienen de competir con uno mismo, colocando metas y desafíos a diarios.

Es por ello que nace esta aplicación tecnológica bajo los mismos conceptos, pero para minería, la cual busca tener las metas claras durante el día, ver resultados en forma instantánea, reconocer el buen desempeño y motivar el mejorar cada vez más. En la siguiente figura se muestra el menú Avance de Turno y Gestión Predictiva de Recursos.

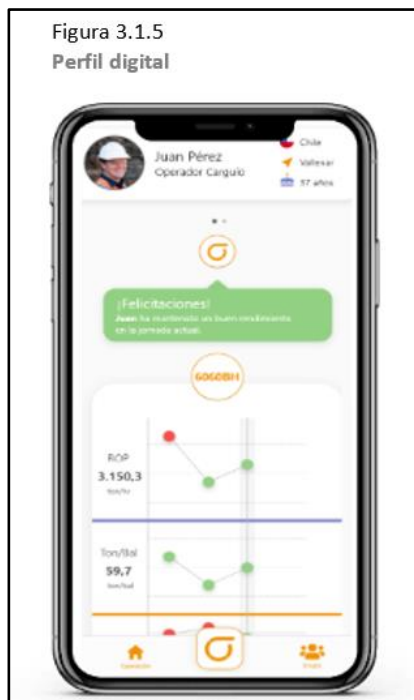


#### *3.4.1 Menú Avance de Turno y Gestión Predictiva de Recursos*

La aplicación tecnológica considera un menú de avance de turno, donde la supervisión tiene la posibilidad de ver en las primeras horas de transcurrido el turno como va la producción y a través de inteligencia artificial tener una proyección de como terminara su turno, al ritmo que lo está desarrollando, esto es gamificado, práctico y seguro, sin tener que interpretar análisis, numeros y estadísticas.

En la parte inferior puede ver cual es el desempeño equipo por equipo y a través de semaforización, ver aquellos equipos que están por debajo del desempeño de la meta establecida.



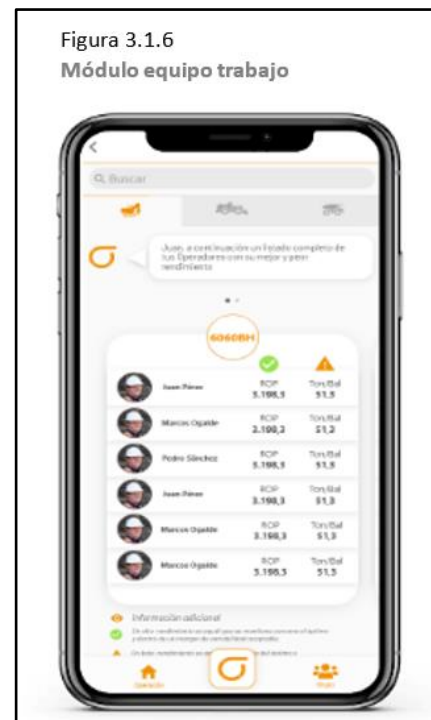


### 3.4.2. Perfil Digital: Patrones y oportunidades de mejora personalizada

La aplicación Trabaja detectando en línea patrones y desviaciones operacionales por cada operador, prediciendo lo que va a ocurrir y entregando recomendaciones habilitadas con inteligencia artificial que anticipan cómo será su comportamiento y sugieren las acciones adecuadas para evitar pérdidas de operación y trabajar de forma segura, confiable y sostenible.

Cada acción se mide no solo desde el impacto de producción o costos. Integrando y haciendo consciente a los usuarios de lo valioso que es su impacto en cada ciclo de trabajo de forma conectada y en línea con el grupo de trabajo, mediante feedback, cierres de brechas y reconocimientos.

Sumado a lo anterior, la aplicación apalanca el reconocimiento de las personas para destacar las mejores prácticas en seguridad y producción, por medio de interfaces intuitivas y fáciles de visualizar.



### 3.4.3. Equipo de trabajo visión de oportunidades de mejora por grupo.

También existe la posibilidad de ver a todo el equipo de trabajo, saber cuales son rendimientos y productividades, poder realizar un ranking de ellos y poder conectar sus conductas y comportamientos con actores relevantes para la operación como las áreas de capacitación y competencias.

## 4. Metodología de Trabajo

Lo primero que se debe establecer es un proceso de gestión del cambio como eje principal de trabajo y de cada implementación de la tecnología, se lleva a cabo un proceso de Gestión del Cambio Digital con los usuarios, el cual establece una metodología con metas específicas, roles y actividades según cada caso. El objetivo principal es conseguir la adopción de la tecnología en horas tempranas del proyecto, asegurando la usabilidad por parte de los usuarios y entendimiento de la aplicación.

La metodología de Gestión del Cambio Digital se divide en 4 elementos. Cada uno posee distintos pasos y actividades a completar.

Según cada implementación los pasos y actividades pueden variar.

### 4.1 Personas

El primer elemento consiste en realizar un levantamiento completo de las personas involucradas directa e indirectamente con la implementación. Es

clave identificar a los usuarios directos que usarán las herramientas, como por ejemplo Supervisores u Operadores. Para ellos, se utilizan distintas técnicas y actividades, como mapa de stakeholders, journey maps, entrevistas, observaciones en terreno, facciones entre otras.

Adicionalmente, es importante también identificar aquellas personas que serán embajadores y colaboradores durante la implementación, ya que serán ellos quienes reforzarán la comunicación, foco y continuidad operacional con los usuarios directos.

#### 4.2 Oportunidades

Dentro de las etapas generales de implementación se realiza siempre una fase de Inmersión, donde una de las actividades principales es construir una línea base según el alcance y objetivos definidos, como indicadores de productividad, seguridad, sostenibilidad u otros. El objetivo de la línea base es definir un punto de partida y luego comparar con los resultados obtenidos post implementación.

Para la búsqueda de oportunidades se utiliza la metodología de construcción de árboles de valor, detección de patrones ocultos desde la data para cada proceso, facilitando la identificación de cuellos de botella que impactan en la cadena de valor, cuantificando a la vez potenciales impactos.

La definición de la línea base descrita anteriormente es fundamental para la metodología de Gestión del Cambio Digital, ya que habilita los Desafíos a abordar durante la implementación.

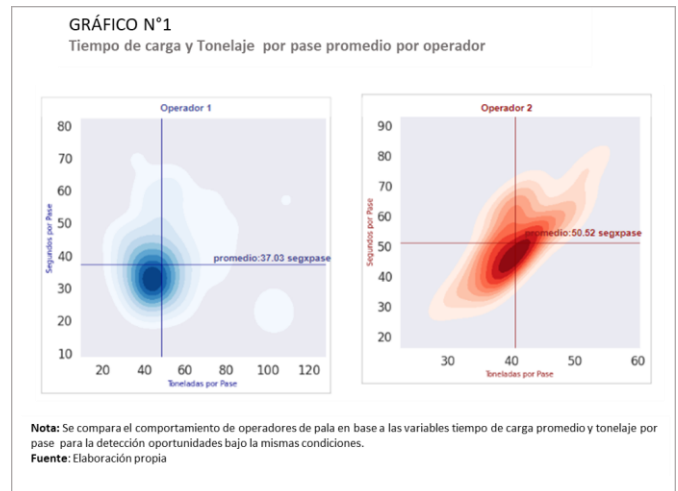
#### 4.3 Desafíos de Excelencia Operacional

A través de la aplicación tecnológica es posible trabajar desafíos de excelencia operacional desde la búsqueda de nuevos hábitos productivos operacionales, feedback y prácticas que permitan alcanzar los objetivos propuestos.

Estos desafíos nacen desde la búsqueda conjunta de oportunidades basadas en data y en expertise operacional y deben ser validados y acordados en conjunto con el cliente, ya que es importante analizar previamente su factibilidad, ya que deben ser desafíos accionables, medibles y alcanzables. Es fundamental en esta fase lograr un alineamiento en un desafío de alto impacto que movilice mejores resultados del negocio y que a la vez posea palancas de valor accionable, tales como variables presentes en el árbol de valor de

producción mina, las cuales sean posibles de mejorar en los distintos niveles y roles del modelo operativo y procesos del sitio minero.

En el gráfico a continuación se ejemplifican espacios de mejora y patrones con alta oportunidad de mejora.



#### 4.4 Implementación

Esta etapa consiste en el despliegue de la aplicación tecnológica, generalmente se considera primero una fase de prueba de 1 o 2 semanas solo con los usuarios denominados como embajadores para realizar testeos y validar la información desplegada. Por otro lado, es necesario antes del despliegue realizar sesiones de entrenamiento con la totalidad de los usuarios directos, luego de la marcha blanca comienza la fase de despliegue con toda la operación, durante este periodo es clave el acompañamiento, la participación activa de colaboradores y embajadores.

Desde el inicio de la etapa de implementación se mide la usabilidad por parte de los usuarios, tales como cantidad de sesiones, interacciones, tiempo en pantalla, etc., esto con el objetivo de identificar aquellas personas que requieren nuevas sesiones de entrenamiento o necesitan resolver algunas dudas.

Por último, en esta etapa es cuando cobran vida los Desafíos de Excelencia Operacional, los cuales comienzan una vez que la usabilidad logra un nivel estable y se logra identificar un entendimiento más acabado por parte de los usuarios.

#### 4.5 Medición de impacto

La medición de impacto es una actividad que ocurre en paralelo a la implementación, en el sentido que es clave medir cada decisión o acción de un usuario sobre la aplicación tecnológica, desde una alerta,

recomendación o algún patrón que se identificó a través de la aplicación.

Además de las mediciones frecuentes de acciones diarias, es necesario medir resultados generales post implementación o luego de un desafío. Dependiendo de la aplicación tecnológica, dichos resultados pueden mostrar diferencias entre diversos grupos de trabajo y operadores.

## 5. Población y Muestra

El presente trabajo se enfoca en la operación de una mina a tajo abierto que explota cobre ubicada en Chile y que se encuentra en el top 10 de las minas con más producción en el mundo. Dentro de su cadena de valor se incluyen los procesos de toda mina a tajo abierto. Este estudio se enfocará específicamente en el proceso de carguío y acarreo.

La mina en estudio cuenta con 56 camiones mineros y 10 equipos de carguío. Estos son operados por 290 y 57 operadores de cada proceso respectivamente, repartidos en 4 grupos de trabajo. Cada equipo de trabajo cuenta con un instructor, un supervisor de despacho y es liderado por un jefe de turno. Todos ellos trabajan a cargo de la superintendencia de carguío y acarreo.

El trabajo de investigación realizado, se basó en el análisis previo y posterior a la implementación de un desafío operacional en la mina descrita anteriormente. Particularmente el desafío tuvo relación a la mejora del factor de carga de los camiones mineros dentro del proceso de carguío y acarreo.

Los periodos analizados en el presente trabajo de investigación comprenden las siguientes fechas:

TABLA N°1: Períodos incluidos en la investigación

Periodo	Fechas
Antes del desafío	15/11/21 al 15/02/22
Durante el desafío	16/02/22 al 12/04/22

## 6. Forma de trabajo antes de la aplicación tecnológica

La operación minera se caracteriza por tener alta tecnología implementada, incluso incorporada a las líneas de operación, como jefes de turnos, instructores, etc, sin embargo y de acuerdo a los testimonios entregados por ellos mismos, esta tecnología no era amigable, habitualmente no estaba disponible, en ocasiones tenían que recurrir a las oficinas o gabinetes, para obtener la información, los análisis de tendencias y retroalimentación a la operación, a menudo llevaban

en destiempo. Antes de la implementación, la supervisión de turno sólo interactuaba a través de los despachadores, algunos KPIs de desempeños estaban en línea de acuerdo al programa establecido. Previo a la implementación de la aplicación en la faena, se realizó un análisis de oportunidades, donde se determinaron algunos indicadores que, en caso de mejorar, podrían tener un gran impacto en la producción de la mina. Dentro de los indicadores se seleccionó el factor de carga, ya que presentaba una alta variabilidad en el período analizado.

En la tabla N°2 se encuentra un resumen del comportamiento previo de los indicadores relacionados al factor de carga:

TABLA N°2: Indicadores evaluados previos al desafío

Indicador	Resultado
Porcentaje subcargas	16.34%
Porcentaje sobrecargas	17.75%
Factor de carga promedio (ton/ciclo)	295.24

Según los parámetros trabajados en la mina, el promedio del factor de carga tenía un valor aceptable, pero llamaron la atención los porcentajes de subcargas y sobrecargas dentro del proceso. Por un lado, las subcargas se traducen en un proceso menos productivo ya que no se está aprovechando la capacidad de los camiones en cada viaje. Y por otro lado, las sobrecargas conllevan un riesgo en la operación, impactando en la seguridad de trabajo dentro de la mina y también en el cuidado de los equipos de acarreo.

Es por esto que se decide abordar el desafío con el objetivo de lograr una mejora operacional sobre el factor de carga.

## 7. Resultado con implementación

La implementación de este desafío comenzó con la definición de los roles que tomaron cada uno de los integrantes del equipo de carguío y acarreo. Así, se consiguió que las distintas personas del equipo tuvieran claro su aporte dentro del desafío y se involucraran en el proyecto.

El proceso fue acompañado constantemente por el equipo de Indimin y se mantuvo una comunicación cercana que permitió ir incorporando mejoras y mayor información que habilitaba al equipo en terreno a lograr los cambios buscados. Junto con esto, periódicamente se revisaba la evolución de los distintos indicadores del proceso y se buscaban más oportunidades de mejora. El acompañamiento descrito se enmarca bajo un proceso estructurado de feedback

que busca fomentar el compromiso e involucramiento del equipo, en el que se considera además el reconocimiento de las personas en base a sus acciones en distintas instancias y medios formales.

Entonces, el apoyo brindado por Indimin, además de la aplicación dirigida a jefes de turno, fue el acompañamiento constante y la reportabilidad diseñada especialmente para el objetivo fijado.

A partir del acompañamiento mencionado y el uso de aplicación Turno en terreno, es que se logró obtener resultados favorables dentro de la operación, los que se muestran en la siguiente tabla:

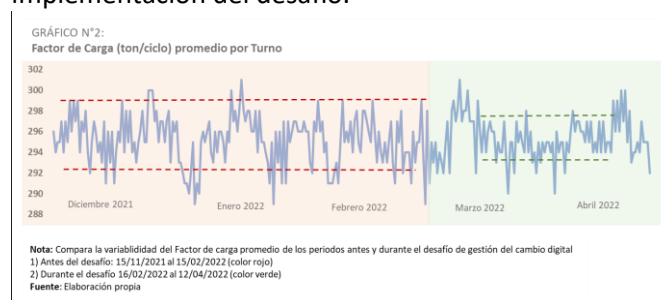
TABLA N°3: Indicadores evaluados durante al desafío

Indicador	Resultado
Porcentaje subcargas	15.32%
Porcentaje sobrecargas	17.40%
Factor de carga promedio (ton/ciclo)	295.34

## 8. Discusión de resultados

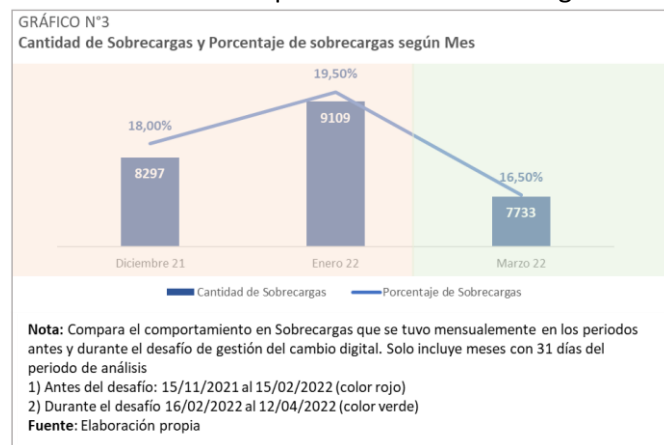
Como se puede observar en las tablas N°2 y N°3, los resultados obtenidos en el período del desafío fueron favorables, logrando una disminución de un 6% en las subcargas y un 2% en sobrecargas, manteniendo el factor de carga promedio en su rango óptimo.

Con esto, se logra una disminución de la variabilidad del indicador, reflejando un mayor control del mismo dentro de la operación. En el gráfico N°1 se puede visualizar el efecto de lo mencionado anteriormente, ya que se observa que en el período previo al desafío (área anaranjada) la distribución del factor de carga tiene una mayor brecha que la que se logró con la implementación del desafío.

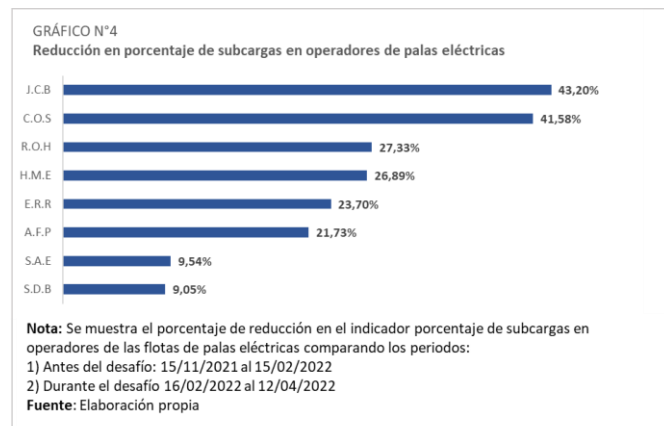


Adicional a este efecto de reducción de variabilidad, se profundiza en el porcentaje de sobrecargas en el período, lo que se muestra en el gráfico N°2. En este se comparan los meses de diciembre 2021, enero 2022 y marzo 2022, excluyendo el mes de febrero debido a que el desafío inició dentro del mes y tiene menos días que los demás. Lo que se puede ver en el gráfico es la baja en la cantidad de viajes sobrecargados luego de la implementación como consecuencia de una notable

disminución en el porcentaje de sobrecargas en el mes durante el desafío (marzo). En promedio, se logró reducir en un mes un total de 970 viajes sobrecargados lo que daría paso a otros importantes impactos positivos como el cuidado de los equipos, cuidado de los neumáticos, ahorro de combustible y optimización de equipos de apoyo debido a la menor ocurrencia de derrames de material producto de la sobrecargas.



Como se mencionó anteriormente, las subcargas también tuvieron una gran disminución en el período y en el gráfico N°3 se puede ver la reducción que tuvo dicho indicador en algunos operadores, llegando a una disminución de hasta 43% en la cantidad de equipos subcargados por un operador.



El mayor control logrado en estos indicadores, tiene un impacto directo en la seguridad operacional, tanto desde el punto de vista del cuidado de equipos y neumáticos como también el ahorro de combustible en el proceso de carguío y acarreo.

Desde esto último, es posible concluir adicionalmente que este tipo de tecnología y metodología tienen un gran potencial en generar desafíos de Excelencia Operacional Digital con impactos ESG en los que además del aprendizaje y colaboración de los equipos de operación es posible generar conciencia en cómo las decisiones impactan en la sostenibilidad de los resultados y su impacto ambiental entre otros.

## 9. Recomendaciones

1.- En todo cambio tecnológico o implementación de un proyecto es importante, generar un buen proceso de Gestión del cambio, ya que los temas culturales y la forma de trabajo rutinaria, siempre termina por producir resistencias al cambio de parte de los trabajadores.

2.- Importante la participación del equipo ejecutivo de las empresas dando los lineamientos y designando líderes de implementación que permitan proyectos que se sostengan en el tiempo, especialmente en etapas de implementación

3.- Áreas de tecnología de la información y sistemas, deben formar parte de los proyectos desde el principio, para que puedan cuantificar las capacidades e infraestructura, facilitando y acelerando implementaciones.

4. Codiseño y combinación de diversas especialidades permite generar nuevas soluciones resilientes y que se adaptan a nuevos contextos, este codiseño debe considerar a personal de terreno, remoto en diversas áreas de la operación, quienes son las personas que pueden entregar buenos feedback de sus necesidades y oportunidades de mejora.

5. El uso de analítica avanzada combinado a interfaces sencillas adaptadas a roles industriales abre un campo de alto potencial de mejora del negocio con alta usabilidad.

6.- Generar buenos procesos de control y seguimiento a través de comunicaciones fluidas en línea y transparentes con la operación.

7. Validación de resultados por parte de áreas de excelencia operacional, mejora continua, gestión y analítica de forma de ir consolidando y validando permanentemente los resultados de mejora en el negocio.

## 10. Conclusiones y reflexión final

El proceso de transformación digital en minería, bajo el contexto presente y futuro de cambios exponenciales en tecnología, cambios sociales y climáticos entre otros son elementos que deben abordarse desde una perspectiva técnica y fuertemente adaptativa. Los escenarios futuros de la minería dependen fuertemente de una correcta navegación e interpretación de este contexto. Bajo este escenario es que se concluye que la combinación multidisciplinaria aplicada en el desarrollo e

implementación de innovación tecnológica, abre espacios de codiseño, involucramiento y participación activa de las personas en contribuir y generar los nuevos procesos que la minería 4.0. Para ello la colaboración activa dentro del ecosistema minero entre grupos mineros, proveedores tecnológicos, academia y sociedad se hacen cada vez más necesarias para lograr soluciones dentro y fuera de la caja que permitan generar nuevas soluciones que irán evolucionando y combinándolos en forma colaborativa.

## Agradecimientos

XXXV Convención Minera PERUMIN, por darnos la oportunidad de presentar este trabajo el cual ha sido muy relevante, para las operaciones mineras de Chile.

A los ejecutivos, ingenieros de excelencia operacional, jefes de turno, despachadores e instructores, entre otros. Que participaron en esta implementación tecnológica, controlando y gestionando el trabajo colaborativo junto a nosotros.

A los equipos de analítica y de TI de cliente, que validaron y respaldaron los resultados con sus propios análisis para demostrar el trabajo arduo llevado a cabo por el cliente e INDIMIN.

A los operadores, principales actores en la implementación y que gracias a su motivación, gestión del cambio y empoderamiento lograron excelentes resultados y reconocimientos.

A los desarrolladores e ingenieros/os de INDIMIN, quienes han dedicado su profesionalismo, en la búsqueda de mejoramiento y aprendizaje de las personas, realizando innovación tecnológica de alto valor.

## Referencias

- 12 maneras de automotivarse cuando estés desanimado. <https://hotmart.com/es/blog/como-automotivarse/> (visitado 13 junio 2021).
- Guía de personas + IA. [pair.withgoogle.com/guidebook/](http://pair.withgoogle.com/guidebook/) (visitado 20 junio 2021).
- nel, J., treacy, E. 2021. Advancing the future of work “redefining leadership and adapting the workplace culture”. Deloitte tracking the trends 2021 trend 8, v. 13, p. 1-9.
- lööw, J., abrahamsson, L., johansson, J. 2019. Mining 4.0—the Impact of New Technology from a workPlace

Perspective. Mining, Metallurgy & Exploration, v. 36, p. 701-707.

duane, D. 2020. The future of work in oil, gas, and chemicals. Deloitte insight.

graves, C. 1970. "levels of existence: an open system theory of values". Journal of humanistic psychology 10, v. 2, p. 55-131.

Van Dantzig, S., Geleijnse, G., & Van Halteren, A.T. (2013). Toward a persuasive mobile application to reduce sedentary behaviour. Personal and Ubiquitous Computing, 17, 1237-1246. DOI:10.1007/ s00779-012-0588-0

#### Perfil profesional

Ingeniero Civil en Minas Sénior de la Universidad de Antofagasta y Máster en negocios mineros y gestión industrial de ingeniería. 28 años de trayectoria en la minería metálica y no metálica, con experiencia en operaciones mineras, procesos de plantas de Chancado, gestión y excelencia operacional, participación en proyectos que optimizan costos y altos niveles de producción.

Richard Palape Torres

Director de Minería

INDIMIN

richard.palape@indimin.com

+569 81565763

Av. Presidente Errázuriz #3949, Las Condes, Santiago de Chile.

#### Perfil profesional

Ingeniero Civil Industrial y Máster en Innovación de la Universidad Adolfo Ib a ez. Más de 12 años trabajando en proyectos que vinculan el mundo industrial y tecnología de analítica avanzada para ayudar a personas y empresas a generar círculos más virtuosos en torno a la productividad sostenible..

 lvaro Díaz Ríos

CEO INDIMIN

INDIMIN

alvaro.diaz@indimin.com

+569 81565763

Av. Presidente Errázuriz #3949, Las Condes, Santiago de Chile

#### Perfil profesional

Ingeniera Civil con Diploma en Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Líder en proyectos de innovación en INDIMIN Chile.

Magdalena Pinedo Swinburn

Jefa de operaciones

INDIMIN

magdalena.pinedo@indimin.com

+56 968416652

Av. Presidente Errázuriz #3949, Las Condes, Santiago de Chile