Dos gigantes, dos lógicas

Lo que el mantenimiento de un avión comercial le enseña a una gerencia de mantenimiento minera

Un avión y un camión minero son máquinas de complejidad parecida, pero se mantienen, aprenden e innovan de formas opuestas. La explicación no está en el metal, sino en cómo se propagan sus fallas y en cómo está organizado su mercado.

por Victor Barrientos Boccardo

Ingeniero civil mecánico · Fundador de INVICTUM SpA

¿Por qué la minería llegó primero a la autonomía?

Hoy operan más de 3.800 camiones sin conductor; ningún avión de pasajeros vuela sin pilotos.

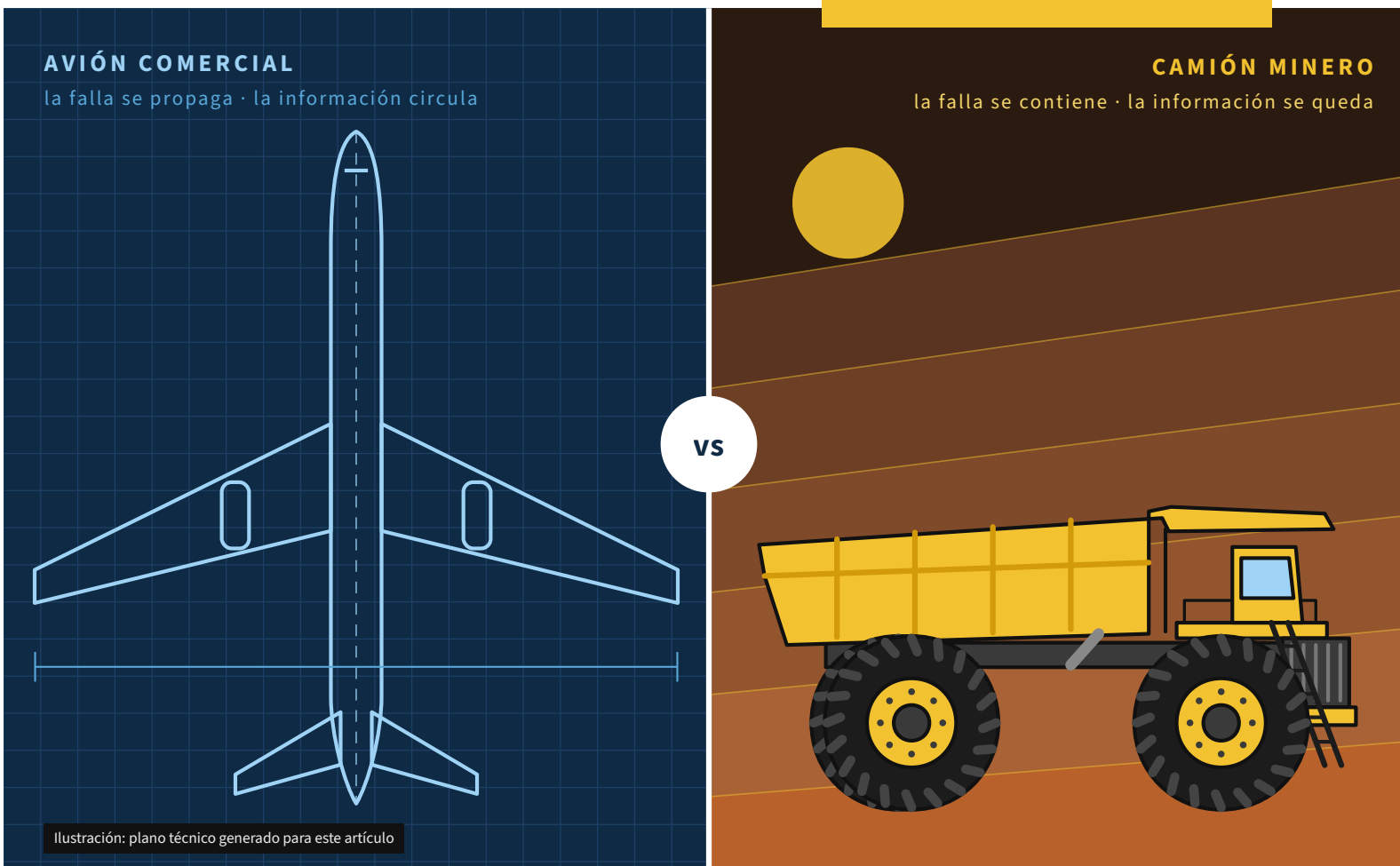


Ilustración: plano técnico generado para este artículo

LA IDEA EN SÍNTESIS

El problema

Solemos explicar las diferencias de mantenimiento por la complejidad técnica de cada máquina. Eso lleva a copiar prácticas de otra industria sin entender por qué funcionan.

La tesis

La velocidad con que se propaga una falla define cómo conviene mantener cada máquina. La organización de su mercado define cuán rápido aprende la industria y dónde innova.

La paradoja

La minería, con un mercado más pequeño, llegó antes a la autonomía porque nadie certifica cada cambio en sus equipos. La misma regla que acelera el aprendizaje frena los saltos tecnológicos.

Qué hacer

Copiar de la aviación la circulación obligatoria de la información de fallas, sin su rigidez, y usar la libertad de la faena para probar más rápido.

Imaginemos dos talleres trabajando a la misma hora. En un hangar climatizado, técnicos con licencia inspeccionan el álabe de una turbina y anotan cada hallazgo en un registro que, esa misma semana, consultarán aerolíneas de cuatro continentes. A miles de kilómetros, en el fondo de un rajo a 3.500 metros de altura, otro equipo levanta con gatas el motor de un camión que carga más de 300 toneladas por viaje. Cuando termine, el hallazgo quedará en el sistema de la faena y, quizás, en el del proveedor, pero rara vez irá más lejos.

Ambos activos cuestan millones de dólares y exigen ingeniería de primer nivel. Sin embargo, casi todo lo que rodea su reparación obedece a lógicas opuestas. La explicación habitual es que el avión vuela y el camión no, y que por eso uno es más exigente. Es una explicación incompleta y peligrosa, porque sugiere que nada de lo que hace la aviación se puede aplicar en minería.

En este artículo comparo ambos mundos para separar lo que se puede copiar de lo que no. La respuesta tiene dos partes. La primera es física: cuán rápido una falla arrastra al resto de la máquina, lo que define cómo conviene mantenerla. La segunda es económica: quién fabrica, quién es dueño, quién repara y quién regula, lo que define cuán rápido aprende cada industria. Ninguna de las dos es la complejidad técnica.

Cuadernos de mantenimiento y confiabilidad ·

N.º 1. La trampa del TBO: cuándo intervenir por tiempo.

N.º 2. El monitoreo que no avisa: cuándo intervenir por condición.

N.º 3. La máquina sabe quién administra el contrato: qué se pierde cuando cambia la organización.

N.º 4. Dos gigantes, dos lógicas (este número): por qué cada industria decide distinto.

N.º 5. Lo que la IA nunca hará en mantenimiento mina: quién responde por la decisión.

Caso aplicado: «Cómo bajar más de 30% el costo por hora de los neumáticos mineros».

Por qué se reparan distinto: la velocidad de la falla

El sociólogo Charles Perrow clasificó los sistemas técnicos con dos preguntas. ¿Pueden sus partes afectarse entre sí de formas imprevistas? ¿Y cuánto tiempo pasa entre que una parte falla y el resto se ve arrastrado? A esa segunda propiedad la llamó acoplamiento.

Un avión en vuelo tiene un acoplamiento estrecho: propulsión, hidráulica, presurización y controles interactúan en segundos, y no hay dónde estacionarse. Un camión minero es mucho más holgado: cuando algo falla, el operador lo detiene y el costo es producción perdida, acotada y medible. De ahí todo lo demás. La aviación invierte en redundancias y márgenes de seguridad; la minería puede reparar y seguir (vea el gráfico «El mapa de Perrow»).

La aviación opera con tasas de falla bajísimas gracias a lo que los estudiosos de las organizaciones de alta confiabilidad llaman preocupación permanente por el fallo: tratar cada anomalía menor como síntoma de algo mayor (Weick y Sutcliffe). En minería, detener la flota ante cada anomalía menor destruiría el negocio.

El mapa de Perrow

Dos máquinas de complejidad parecida, separadas por la velocidad con que una falla arrastra al resto.

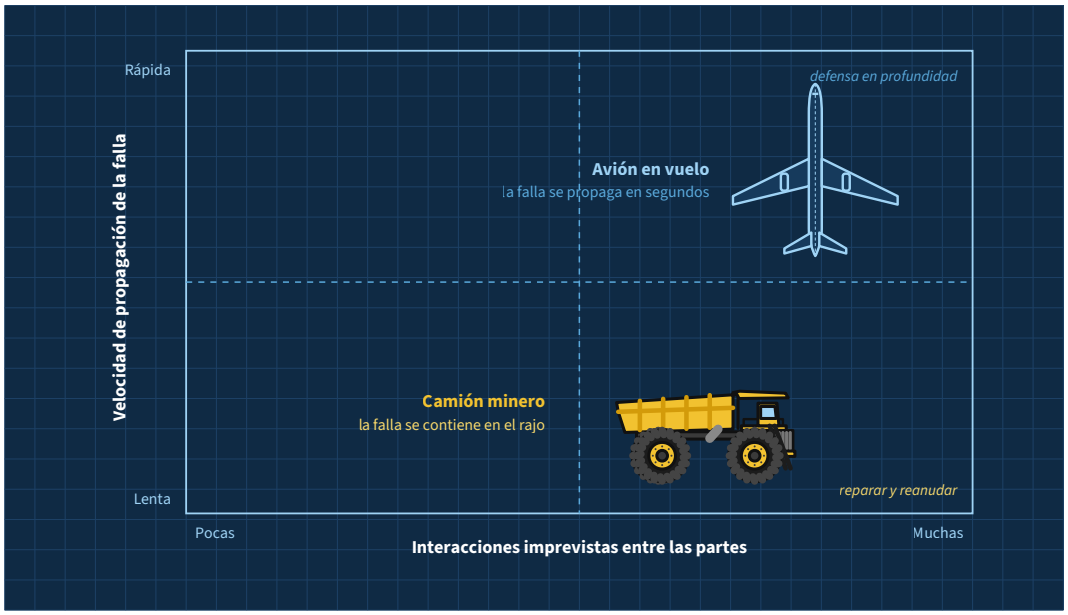


Ilustración del autor basada en C. Perrow, *Normal Accidents* (1984). Posiciones ilustrativas.

Un dato suele sorprender a los mantenedores mineros: el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), base de su práctica moderna, nació en la aviación. Lo formalizaron Nowlan y Heap en United Airlines en 1978, y su heredera, la metodología MSG-3, sigue organizando los programas de mantenimiento de los aviones actuales. La lógica es la misma en ambos mundos: para cada modo de falla, decidir si conviene prevenirlo, vigilarlo o dejar que ocurra. Lo que cambia es quién decide. En aviación, el programa lo aprueba la autoridad, y las piezas críticas tienen una vida máxima obligatoria. En minería, cada faena decide (vea la tabla «Dos doctrinas de mantenimiento»).

Dos doctrinas de mantenimiento

La misma lógica de confiabilidad, gobernada de dos formas distintas.

Dimensión	Avión comercial	Camión minero (CAEX)
Cómo se propaga una falla	En segundos; no hay dónde detenerse	Se contiene: el equipo se detiene en el rajo
Costo de una falla grave	Catastrófico: vidas, avión, flota	Acotado: producción perdida
Quién define el programa	La autoridad aprueba un programa RCM (MSG-3)	Cada faena define su propio RCM
Vida útil de componentes	Máximos obligatorios en piezas críticas; el resto, por condición	Por condición y datos
Indicador principal	Seguridad antes que disponibilidad	Costo por tonelada y disponibilidad
Repuestos	Solo certificados y trazables	Originales, alternativos o reparados
Personal	Técnicos con licencia individual	Sin licencia individual obligatoria en muchos países

Fuente: elaboración del autor a partir de Perrow (1984), Nowlan y Heap (1978) y los marcos regulatorios de la FAA y la EASA.

Copiar la doctrina aeronáutica completa en una faena sería un sobrecosto; llevar la flexibilidad minera a la aviación, una temeridad. Pero la velocidad de la falla explica cómo se repara cada máquina, no por qué una industria mejora sus diseños más rápido que la otra. Para eso hay que mirar cómo aprende cada una.

Por qué la aviación aprende más rápido

Theodore Wright mostró en 1936, estudiando la fabricación de aviones, que el costo promedio por unidad cae un porcentaje fijo cada vez que se duplica la producción acumulada. Con las fallas ocurre algo parecido: mientras más experiencia acumula una industria, más rápido las corrige. Esa velocidad depende de tres factores (vea el gráfico «La ecuación del aprendizaje»).

La ecuación del aprendizaje

Tres factores determinan cuán rápido aprende una industria de sus fallas; la minería gana en uno.



Modelo conceptual del autor, inspirado en la literatura sobre curvas de aprendizaje y transferencia de conocimiento entre organizaciones (Argote; Darr, Argote y Epple). No es una fórmula estimada.

Volumen: la ventaja es real, pero menor de lo que parece

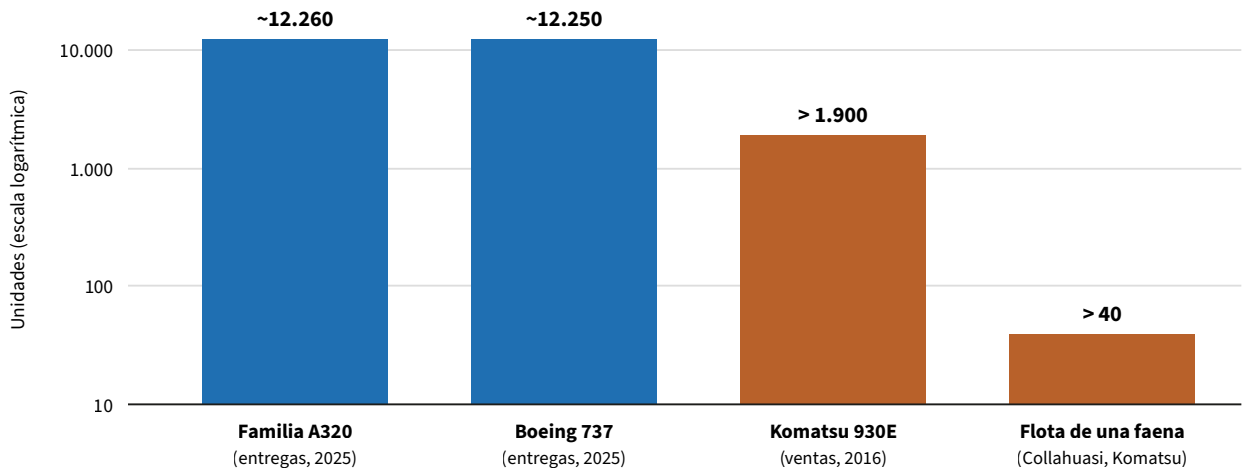
En octubre de 2025, la familia A320 de Airbus llegó a 12.260 entregas y superó al Boeing 737, con unas 12.250, como el avión comercial más entregado de la historia. Del camión ultra-clase más vendido, el Komatsu 930E, ya se habían vendido más de 1.900 unidades en 2016. A escala mundial, la diferencia es de unas seis veces. La brecha decisiva aparece en la faena: allí conviven unas decenas de camiones de un modelo (Collahuasi, por ejemplo, operaba algo más de 40 camiones Komatsu cuando recibió el 930E número 930), mientras miles de aviones iguales alimentan una misma base de datos (vea el gráfico «Escala por plataforma»).

Intensidad de uso: aquí gana la minería

Un camión minero trabaja las 24 horas, todo el año, y suele acumular entre 6.000 y 7.000 horas de operación anuales, cerca del doble que un avión de pasillo único. Además, lo que desgasta al avión no son tanto las horas como los ciclos: cada despegue y aterrizaje es un ciclo de fatiga para el fuselaje.

Escala por plataforma

Unidades de cada modelo: la brecha es de seis veces a escala mundial y de cientos de veces en una faena.



Fuentes: entregas acumuladas a octubre de 2025 según Cirium, citado por Reuters; ventas del 930E según Komatsu (2016). La flota por faena corresponde al caso de Collahuasi, que operaba más de 40 camiones Komatsu (*Engineering & Mining Journal*).

Circulación de la información: donde se decide la carrera

La diferencia decisiva no está en cuántas fallas ocurren, sino en hacia dónde viajan. En aviación, cuando se detecta un problema relevante, la autoridad emite una directiva de aeronavegabilidad que obliga a todos los operadores del mundo a inspeccionar o reparar en un plazo fijo, y el fabricante distribuye boletines de servicio a toda la flota. A eso se suman sistemas de reporte confidencial de incidentes, como el que la NASA administra en Estados Unidos desde 1976, que permiten aprender de lo que estuvo a punto de pasar. La investigación documenta que las aerolíneas aprenden de sus accidentes y también de sus incidentes menores (Haunschild y Sullivan). Y un estudio clásico sobre franquicias de comida rápida mostró que el conocimiento se transfería entre locales del mismo dueño, pero no entre locales de dueños distintos (Darr, Argote y Epple): la misma frontera que hoy separa a las faenas mineras.

En minería no existe un equivalente obligatorio. Cada faena reporta a su proveedor bajo acuerdos

privados, y los datos de falla se tratan como información competitiva. El conocimiento existe, y los fabricantes lo acumulan, pero circula fragmentado y lento (vea el gráfico «Dos arquitecturas de la información»).

El modelo aeronáutico tampoco es perfecto: el miedo a las consecuencias distorsiona los reportes (Baumard y Starbuck), y la experiencia se pierde si no se usa (Argote). Pero la lección es general. La velocidad con que una industria mejora depende menos de cuántas máquinas tiene que de las reglas que obligan a compartir lo que falla. Es una decisión de gobierno, no de ingeniería.

Dos arquitecturas de la información

En la aviación, la falla de uno circula obligatoriamente hacia todos; en la minería, queda entre cada faena y su proveedor.

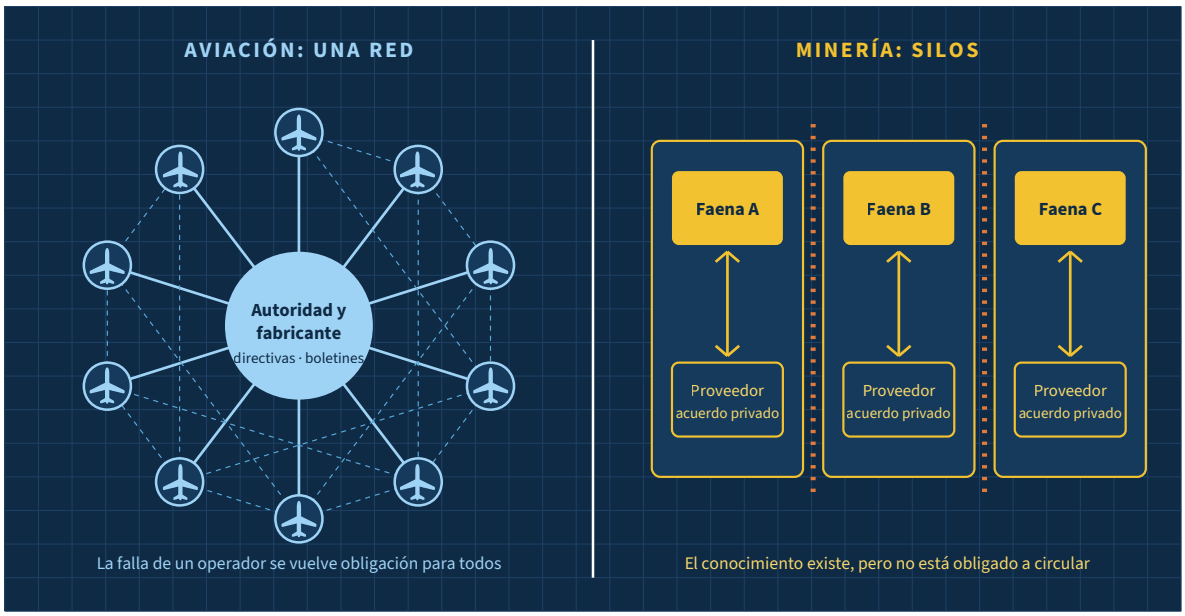


Ilustración del autor.

> «El avión no aprende más rápido porque haya más aviones. Aprende más rápido porque la regla obliga a que la falla de uno se vuelva conocimiento de todos.»

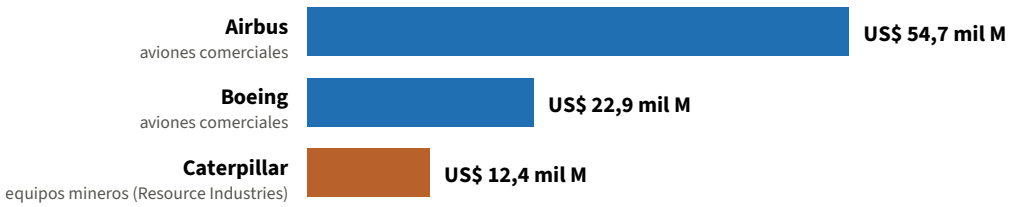
El tamaño importa menos de lo que parece

En 2024, las divisiones de aviones comerciales de Airbus y Boeing facturaron juntas unos US$ 78 mil millones; la división de equipos mineros de Caterpillar, el mayor fabricante del sector, US$ 12.400 millones (vea el gráfico «Ingresos 2024»). La aviación es varias veces más grande, y eso le permite repartir sus costos de ingeniería entre más unidades y planificar con carteras de pedidos de varios años.

Pero si el tamaño lo explicara todo, la minería debería ir siempre atrás. Y en la tecnología más disruptiva de ambas industrias, la conducción autónoma, va adelante. Antes de llegar a esa paradoja conviene mirar los rasgos del mercado que sí explican las diferencias.

Ingresos 2024

Ingresos de los segmentos de aviones comerciales y de equipos mineros de los principales fabricantes, en miles de millones de dólares.



Fuentes: informes anuales 2024 de Airbus (€ 50.600 millones, convertidos a US$ con el tipo de cambio promedio de 2024), Boeing y Caterpillar. El segmento de Caterpillar incluye todos sus equipos mineros, no solo camiones.

Cinco rasgos del mercado que explican la diferencia

1. Quién fabrica. Dos fabricantes dominan la aviación comercial. En camiones mineros compiten Caterpillar, Komatsu, Liebherr, Hitachi, BelAZ y fabricantes chinos como XCMG y SANY. Pocos fabricantes con miles de aviones iguales favorecen la estandarización; más competencia en minería trae diseños variados y presión de precios. La investigación muestra que ni el exceso ni la falta de competencia favorecen la innovación: el punto óptimo está en el medio (Aghion y coautores).

2. Quién es dueño. Según la IATA, con datos de Cirium, el 58% de la flota comercial mundial era arrendada a fines de 2023. Un avión arrendado debe devolverse con su historial completo y sus componentes dentro de los límites pactados: mantenerlo es también proteger su valor de reventa. El camión minero, en cambio, lo compra la minera y lo usa hasta el final de su vida: mantenerlo es sostener la producción.

3. Quién repara. En aviación se generalizó el pago por hora de vuelo: la aerolínea paga al fabricante del motor una tarifa por cada hora y este asume el riesgo de mantenimiento. Junto con la prohibición de repuestos no certificados, eso cierra el mercado de la reparación. La minería también vive de la posventa (Caterpillar facturó US$ 24 mil millones en servicios en 2024, más de un tercio de sus ingresos), pero convive con repuestos alternativos y componentes reparados, lo que da a la minera más poder de negociación.

4. Cuánto pesa el ciclo. La demanda de aviones crece con el tráfico aéreo, de forma relativamente estable. La de camiones sigue el precio de los metales: cuando sube, las mineras renuevan flota; cuando cae, estiran la vida de los equipos, y el mantenimiento carga con flotas envejecidas.

5. Qué se regula. En aviación, el regulador certifica el avión, los talleres y los técnicos, y puede dejar en tierra un avión sin certificación vigente. En minería, la regulación se centra en la seguridad de las personas y el ambiente de la faena, no en el diseño del equipo. El fabricante minero puede cambiar su producto sin pasar por un certificador externo. Esa diferencia es la semilla de la paradoja (vea el gráfico «La huella de los cinco rasgos»).

La huella de los cinco rasgos

En cada uno de los cinco rasgos, ambas industrias se ubican en extremos opuestos.

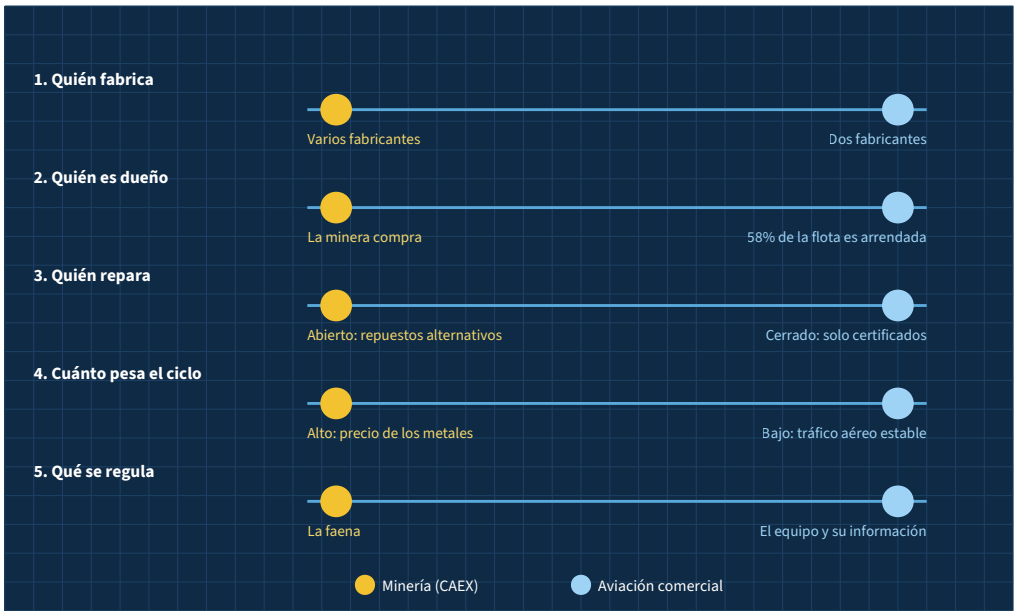


Ilustración del autor. Dato de arrendamiento: IATA con datos de Cirium (2024).

La paradoja: la misma regla acelera y frena

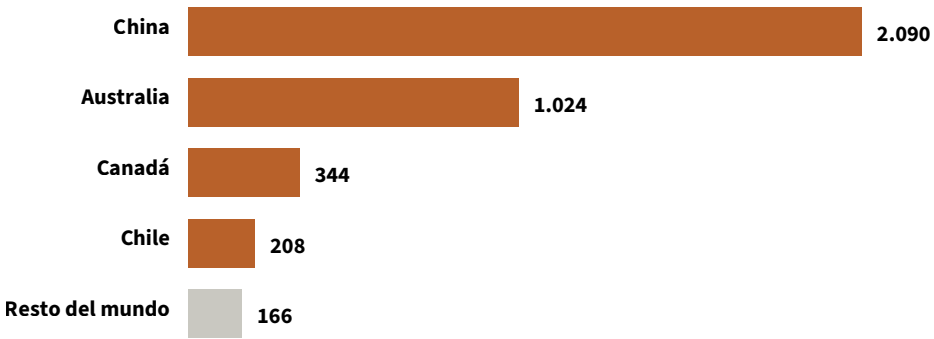
A julio de 2025 operaban 3.832 camiones autónomos en minas de superficie de todo el mundo, un 84% más que un año antes, según GlobalData (vea el gráfico «Camiones autónomos en operación»). Komatsu puso en marcha su camión autónomo número 1.000 en abril de 2026. En la aviación comercial, en cambio, ningún vuelo de pasajeros opera sin pilotos, aunque el aterrizaje automático está certificado desde los años sesenta.

Lo que frena al avión sin piloto no es la ingeniería, sino la certificación y la aceptación del público. La faena es un espacio cerrado, privado y sin terceros expuestos, casi un campo de pruebas permanente; el cielo es un espacio compartido y lleno de pasajeros. Un estudio de Aghion, Bergeaud y Van Reenen con empresas francesas ilustra el mecanismo de forma indirecta: las regulaciones laborales que se activan cuando una empresa llega a 50 empleados reducen la innovación agregada en torno a un 5,7%. Mide otro tipo de regulación, pero el principio es el mismo: cuando cambiar cuesta más, se cambia menos.

La regulación, entonces, no es buena ni mala para la innovación. Acelera las mejoras graduales, porque obliga a compartir y a estandarizar, y frena los saltos, porque encarece cualquier ruptura. En minería ocurre al revés en ambos frentes.

Camiones autónomos en operación

Camiones de extracción autónomos en minas de superficie, por país, a julio de 2025.



Total mundial: 3.832 camiones autónomos (julio de 2025), 84% más que un año antes.

Fuente: GlobalData, Mining Intelligence Center, citado por *Mining Technology* (2025).

> «El déficit de la minería no es de tecnología, sino de circulación de la información. Y eso se puede corregir sin esperar al regulador.»

Más allá de aviones y camiones

Si la tesis es correcta, debería repetirse en otras industrias de activos complejos. Y se repite (vea la tabla «Seis industrias, la misma lógica»). Donde la información de fallas está obligada a circular, como en la aviación y la energía nuclear, el aprendizaje gradual es rápido y la autonomía, lenta. Donde la operación ocurre en espacios cerrados y privados, la autonomía llega primero.

El caso ferroviario es el más revelador, porque ocurre dentro de una misma industria. Los metros totalmente automáticos existen desde comienzos de los años ochenta (Kobe, 1981), y Rio Tinto opera desde 2019 trenes de carga autónomos en su red privada de Australia. En las redes abiertas, compartidas con pasajeros y otros operadores, el tren sin conductor sigue siendo una excepción. La tecnología es la misma; lo que cambia es la estructura.

La lección vale para cualquier gerencia de activos complejos, sea en energía, salud, defensa o banca: antes de copiar las prácticas de otra industria, conviene preguntar en qué cuadrante del mapa está cada una.

Seis industrias, la misma lógica

Velocidad de la falla, circulación de la información y adopción de autonomía en seis industrias de activos complejos.

Industria	Velocidad de la falla	¿Circula la información de fallas?	Autonomía
Aviación comercial	Rápida; catastrófica	Sí: obligatoria y compartida entre competidores	Baja: ningún vuelo de pasajeros sin pilotos
Minería a rajo abierto	Lenta; acotada	Poca: acuerdos privados entre faena y proveedor	Alta: más de 3.800 camiones autónomos
Energía nuclear	Rápida; catastrófica	Sí: reportes al regulador e intercambio entre operadores (INPO desde 1979, WANO desde 1989)	Muy baja: operadores con licencia
Ferrocarriles	Intermedia	Parcial: investigación independiente de accidentes	Alta en redes cerradas (metros automáticos desde 1981; trenes de carga autónomos de Rio Tinto desde 2019); baja en redes abiertas
Petróleo offshore	Rápida en procesos con hidrocarburos	Creciente: régimen de «caso de seguridad» en el Reino Unido tras Piper Alpha (1988)	Media: procesos automatizados con supervisión humana
Salud hospitalaria	Variable	Mixta y fragmentada: obligatoria para eventos graves en algunos sistemas, voluntaria para el resto	Baja en decisiones clínicas

Elaboración del autor a partir de fuentes públicas: INPO, WANO, informe Cullen sobre Piper Alpha (1990), Rio Tinto (2019) y GlobalData (2025). Clasificación cualitativa.

Qué puede hacer una gerencia de mantenimiento minera

La comparación no sirve para importar el manual aeronáutico, sino para copiar sus mecanismos de aprendizaje sin su rigidez (vea la tabla «Qué copiar de la aviación y qué no»). Siete acciones concretas:

Exija el «boletín de servicio» de su flota. Incluya en los contratos de mantenimiento con el fabricante la entrega periódica de las fallas relevantes de toda la flota mundial del modelo, no solo las de su faena, y plazos para comunicar defectos de diseño.

Forme un club de usuarios del modelo. Las faenas que operan el mismo camión pueden compartir modos de falla, análisis de causa raíz y soluciones, sin intercambiar precios ni información comercial. Es la versión minera de los grupos de operadores de la aviación.

Instale un reporte de cuasi-fallas sin castigo. Abra un canal confidencial para reportar lo que estuvo a punto de fallar, con la regla explícita de que el reporte no se usa para sancionar.

Defina sus «límites duros». Identifique los pocos componentes cuya falla pone en riesgo vidas (frenos, dirección, estructura, sistemas contra incendio) y fíjeles vida máxima o inspecciones obligatorias, aunque luzcan sanos. Gestione el resto por condición.

Negocie la propiedad de los datos. Como el mercado minero de la reparación es abierto, la minera tiene poder: asegure por contrato el acceso a la telemetría y al historial de fallas de sus equipos, aunque cambie de proveedor.

Use la libertad de la faena para probar rápido. La minería no necesita certificar cada cambio. Aproveche esa ventaja con pilotos acotados, metas medibles y una decisión rápida de escalar o abandonar.

Estandarice cuando el ciclo lo permita. Cada modelo adicional en la flota divide la experiencia. En los años de renovación, prefiera menos modelos con más unidades.

Qué copiar de la aviación y qué no

Los mecanismos de aprendizaje se pueden importar; la rigidez, no.

Copiar de la aviación	No copiar
La obligación de compartir las fallas relevantes de un modelo	La certificación externa de cada cambio de diseño
Vida máxima obligatoria para los componentes críticos de seguridad	Vida máxima obligatoria para todos los componentes
El reporte confidencial de incidentes, sin castigo	La tolerancia cero frente a toda anomalía menor
El historial completo y trazable de cada componente	La exclusividad de repuestos del fabricante
La investigación independiente de las fallas graves	La rigidez para cambiar de proveedor o de modelo

Elaboración del autor.

La estructura precede a la estrategia

Comparar un avión con un camión minero parecía un ejercicio caprichoso. Resulta ser una lección de gestión. Cómo conviene mantener una máquina depende de cuán rápido se propagan sus fallas. Cuán rápido mejora depende de cómo está organizado su mercado y, sobre todo, de si la información de fallas está obligada a circular.

Seis preguntas antes de diseñar la estrategia de mantenimiento de un activo

¿Cuán rápido se propaga una falla? Define si conviene la defensa en profundidad o reparar y seguir.

¿Cuántos fabricantes hay? Define cuánto puede negociar y cuánta estandarización puede esperar.

¿Quién es dueño del equipo? Define si mantener es proteger valor de reventa o sostener producción.

¿Quién puede repararlo? Define si el mercado de repuestos está abierto o cerrado.

¿Cuánto lo afecta el ciclo? Define cuánto envejecerá la flota.

¿Qué se regula? Define cuán rápido circula la información de fallas y cuán caro es el salto tecnológico.

Para una gerencia de mantenimiento minera, la conclusión es práctica. Su desventaja frente a la aviación no está en la tecnología ni en el tamaño, sino en que lo que falla en una faena rara vez llega a las demás. Eso se puede corregir con contratos, con alianzas entre faenas y con reglas internas, sin esperar al regulador.

Dos gigantes, dos lógicas. Y una enseñanza que vale para cualquier activo: la estructura precede a la estrategia. ■

Nota metodológica

Las entregas de aviones corresponden a Cirium, citado por Reuters (octubre de 2025). Los ingresos provienen de los informes anuales 2024 de Airbus, Boeing y Caterpillar; el de Airbus se convirtió a dólares con el tipo de cambio promedio del año. El dato de arrendamiento es de la IATA con datos de Cirium, y el de camiones autónomos, de GlobalData.

Las horas anuales de operación son valores típicos estimados por el autor y varían por operador. «El mapa de Perrow», «La ecuación del aprendizaje», «Dos arquitecturas de la información» y «La huella de los cinco rasgos» son esquemas conceptuales del autor, no datos medidos.

Victor Barrientos Boccardo *es ingeniero civil mecánico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, con más de veinte años en mantenimiento y confiabilidad de equipos mineros en empresas mineras en Chile. Es fundador de INVICTUM SpA, consultora en confiabilidad y mantenimiento minero, y autor de seis libros sobre mantenimiento de equipos mineros, cognición del mantenedor, sesgos cognitivos y estrategia de reemplazo de flotas.*

Referencias. Aghion, P., Bergeaud, A. y Van Reenen, J. (2023), «The Impact of Regulation on Innovation», *American Economic Review* 113(11). · Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R. y Howitt, P. (2005), «Competition and Innovation: An Inverted-U Relationship», *Quarterly Journal of Economics* 120(2). · Airbus (2025), *Full-Year 2024 Results*. · Argote, L. (2013), *Organizational Learning*, 2.ª ed., Springer. · Baumard, P. y Starbuck, W. H. (2005), «Learning from Failures: Why It May Not Happen», *Long Range Planning* 38(3). · Boeing (2025), *Fourth Quarter and Full-Year 2024 Results*. · Caterpillar (2025), *Fourth-Quarter and Full-Year 2024 Results*. · Cullen, W. D. (1990), *The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster*, HMSO. · Darr, E. D., Argote, L. y Epple, D. (1995), «The Acquisition, Transfer, and Depreciation of Knowledge in Service Organizations: Productivity in Franchises», *Management Science* 41(11). · GlobalData (2025), citado en «China: Global Leader in Autonomous Surface Mining Trucks», *Mining Technology*. · *Engineering & Mining Journal*, «Komatsu Builds 930th Ultra-Class Hauler». · Haunschild, P. R. y Sullivan, B. N. (2002), «Learning from Complexity», *Administrative Science Quarterly* 47(4). · IATA (2024), «More Aircraft Are Leased than Owned by Airlines Globally», *Chart of the Week*, 12 de abril. · Komatsu (2016), presentación del 930E-5 en MINExpo; Komatsu (2026), anuncio del camión autónomo número 1.000. · Nowlan, F. S. y Heap, H. F. (1978), *Reliability-Centered Maintenance*, United Airlines y Departamento de Defensa de EE.UU. · Perrow, C. (1984), *Normal Accidents*, Basic Books. · Reuters (2025), «Airbus A320 Flies Past Boeing 737 as Most-Delivered Jet in History», 7 de octubre. · Rio Tinto (2019), anuncio de la operación plena de AutoHaul. · Weick, K. E. y Sutcliffe, K. M. (2007), *Managing the Unexpected*, 2.ª ed., Jossey-Bass. · Wright, T. P. (1936), «Factors Affecting the Cost of Airplanes», *Journal of the Aeronautical Sciences* 3(4).