

INVERSIÓN GENAI · ARQUITECTURA DECISIONAL

La Línea Más Barata de tu Presupuesto de IA Es la Inteligencia

Jensen Huang lleva cuatro años llamando a la inteligencia un commodity. La semana pasada declaró que llegó. Para una concentradora de cobre, eso es una instrucción de compra, no una profecía.

Un documento de diagnóstico para directorios, COOs y directores de operaciones que financian iniciativas de GenAI en minería del cobre e industria pesada en LATAM

AUDIENCIADirectorios · COOs · Dir.
Operaciones**FOCO**Diseño del espacio
decisional GenAI**REGIÓN**LATAM Minería · Industria
Pesada

Contenido

01	Resumen Ejecutivo	3
02	Cuatro Años de la Misma Frase, y la Semana en que Venció	4
03	Cuánto Pesa "una Decisión" a 150.000 Toneladas por Día	5
04	El Patrón del Comité, y los Pilotos que Sí Pagaron	6
05	Cinco Capacidades, Leídas como Orden de Construcción	7
06	Cuando el Modelo No Cuesta Nada, el Margen Se Muda al Diseño	9
07	El Bug que Nunca Lanza un Error	10
08	Qué Preguntar Antes de Financiar el Próximo Piloto	11
09	Cuando la Automatización Es Solo Lavado de Decisiones	13
10	Deuda Inteligente: el Pasivo que Se Acumula Sin Factura	14
11	El Test que Puedes Correr Sobre un Piloto Esta Semana	15
12	Ideas Clave	16
13	Fuentes	18

01

RESUMEN EJECUTIVO

La inteligencia es hoy la línea más barata de tu presupuesto de GenAI¹, y se abarata cada trimestre. Lo que sigue siendo escaso, y lo que ningún proveedor te puede vender, es el diseño del espacio donde esa inteligencia decide: qué decisiones de tu operación le pertenecen, a qué nivel de autonomía, bajo qué función objetivo única, con qué telemetría de anulación² que un humano pueda leer y revertir. Ese diseño es el trabajo que NTT DATA hace con operadores mineros, y este documento es su argumento: responde esas cuatro preguntas antes de comprar la inteligencia, no después, porque cada éxito documentado de IA en concentración de cobre las respondió primero, y las iniciativas que se estancan son las que compraron la inteligencia y se saltaron el diseño.

La afirmación sobre la inteligencia barata no es nuestra. Es del hombre que le vende el cómputo al mundo. Jensen Huang sostiene la misma definición funcional de inteligencia desde al menos 2022, les dijo a los estudiantes de Cambridge en noviembre de 2025 que la inteligencia estaba "a punto de ser un commodity", y el 1 de junio de 2026, en GTC Taipei, declaró la tesis cumplida: *"la IA agéntica llegó... la IA útil llegó"* — dos semanas después de decirle a Dell Technologies World que la demanda iba "totalmente parabólica". Cuando el proveedor de la inteligencia se pasa cuatro años diciéndoles a sus clientes que la inteligencia es el commodity, la diferenciación ya se movió hacia aquello a lo que la apuntas.

El telón de fondo empírico es incómodo y conviene decirlo sin rodeos. El estudio MIT NANDA *GenAI Divide* reportó en 2025 que cerca del 95 % de las iniciativas GenAI empresariales no produjo retorno medible. Más cerca de casa, el estudio de NTT DATA y MIT Technology Review sobre autonomía en minería encontró que el 72 % de las organizaciones mineras encuestadas admitió que sus proyectos entregaron solo parte de los beneficios que esperaban. Ambas son señales direccionales más que censos precisos, y el argumento que sigue se sostiene a lo largo de sus márgenes de error.

En mis conversaciones con líderes de operaciones de la región, lo que me llama la atención nunca es la falta de ambición. Es que la pregunta "¿de qué decisión es dueña esta IA?" casi nunca tiene respuesta escrita. Las páginas que siguen le dan estructura a esa pregunta: cuánto pesa de verdad una decisión a escala de concentradora, cómo se ve el patrón de pilotos financiados desde adentro de un comité de tecnología, cómo las cinco capacidades de Huang se leen como orden de construcción de una capa de orquestación diseñada para el óptimo global, y las cuatro preguntas que convierten la próxima propuesta de IA sobre tu escritorio en algo que un CFO puede auditar.

¹GenAI — Inteligencia Artificial Generativa.

²Telemetría de anulación (en inglés, *override telemetry*) — el registro que le permite a un humano ver qué hizo el modelo y revertir su acción.

IDEA CLAVE — La inteligencia se volvió la línea más barata del presupuesto de IA. El activo escaso es el diseño del espacio decisional: qué decisiones existen, a qué autonomía, bajo qué función objetivo, con qué telemetría de anulación. Ese diseño no está a la venta, porque es una descripción de tu propia operación.

02

CUATRO AÑOS DE LA MISMA FRASE, Y LA SEMANA EN QUE VENCIÓ

La mayoría de los directorios conoció la tesis de Huang como un titular de 2026. Es más vieja que eso, y su edad es el punto.

En una entrevista de 2022 con el analista tecnológico Ben Thompson, Huang definió la inteligencia en los términos más deflacionarios que el máximo ejecutivo de NVIDIA podía elegir: *“La inteligencia es la capacidad de reconocer patrones, reconocer relaciones, razonar sobre ello y hacer una predicción o planificar una acción. Eso es la inteligencia. No tiene nada que ver con inteligencia general. La inteligencia es simplemente resolver problemas.”* Cinco capacidades, cero mística. En noviembre de 2025, en la Cambridge Union, precisó el lado económico de la tesis: la inteligencia está “a punto de ser un commodity”. En marzo de 2026, en el podcast de Lex Fridman, llegó a decir que la AGI, bajo definiciones funcionales, ya se había alcanzado, trazando a la vez la línea que importa para este documento: la inteligencia commodity no es lo mismo que la humanidad, y nunca iba a serlo.

Y el 1 de junio de 2026, en GTC Taipei, cerró el arco: *“la IA agéntica llegó... la IA útil llegó.”* Los tokens, le dijo a la audiencia, “son ahora unidades rentables de ingreso”. Dos semanas antes, en Dell Technologies World, había descrito la demanda como “totalmente parabólica”. Su compañía puso en producción plena su plataforma de próxima generación, Vera Rubin, que reduce el costo de inferencia por token a cerca de una décima parte del de la generación anterior. Leídas en conjunto, esas declaraciones no llevan a una conclusión filosófica sino a una de precios: las cinco capacidades escalan con cómputo y datos, ambos los vende su compañía en volumen, y el costo unitario de ejercerlas baja por una curva que ya figura en la lista de precios.

Los directorios escucharon la primera cláusula de la definición de 2022 y concluyeron que la inteligencia de máquina maduró. Financiaron pilotos, contrataron un responsable de IA y les preguntaron a los proveedores qué tan bueno es el modelo. El peso del argumento está en la segunda cláusula. Si la inteligencia es un commodity, el activo escaso se movió. Se movió al diseño del espacio donde la inteligencia opera. A qué decisiones de la operación fue apuntada la inteligencia. A qué nivel de autonomía. Bajo qué función objetivo. Con qué telemetría de anulación. Esas cuatro elecciones de diseño no son del proveedor. Son del directorio, y un directorio no puede subcontratarle el diseño de su propio espacio decisional

a un proveedor de IA, igual que no podía subcontratarle su modelo operativo al proveedor del ERP³ en 1998.

IDEA CLAVE — Huang sostiene la misma definición desde 2022 y la declaró cumplida en junio de 2026. Cuando el proveedor de la inteligencia te dice durante cuatro años que la inteligencia es el commodity, la diferenciación ya se movió hacia aquello a lo que la apuntas.

03

CUÁNTO PESA “UNA DECISIÓN” A 150.000 TONELADAS POR DÍA

La literatura de IA que un directorio lee en 2026 está saturada de verbos que describen lo que la tecnología hace: orquesta, aumenta, automatiza, copilotea. Ninguno de esos verbos nombra la cosa que la tecnología toca. La cosa que toca es una decisión. Antes de que el resto de este argumento pueda aterrizar, fija en la mente una sola decisión, a escala de una concentradora de clase mundial.

Una concentradora grande de cobre procesa del orden de 150.000 toneladas de mineral por día. En la cabeza de la flotación rougher, un operador reajusta el setpoint de dosificación de reactivos más o menos una vez por hora en operación estable, y bastante más seguido cuando la ley de alimentación se mueve. La decisión suena administrativa. No lo es.

El setpoint depende de la mezcla de mineral aguas arriba, del contenido de pirita fijado por un plan minero ejecutado doce horas antes, de una curva de recuperación que el analizador en línea reporta con rezago, de un lote de reactivo que llegó hace tres días y no ha sido validado contra la línea base histórica, y de la lectura privada del operador sobre cuáles sondas de pH de la fila de celdas están diciendo la verdad en este momento. Un setpoint, resuelto contra tres presiones que compiten a la vez:

1. Recuperación contra costo de reactivos.
2. Recuperación contra la carga de relaves enviada aguas abajo.
3. La lectura del instrumento contra la confianza del operador en ese instrumento.

Un metalurgista senior lo resuelve en unos treinta segundos. La resolución descansa sobre dos décadas de memoria de patrones, dos décadas de causa y efecto verificados en cruzado, y un sistema de valores que pone la curva de recuperación por encima del presupuesto de reactivos de cualquier turno. Los treinta segundos parecen instinto. Son una arquitectura comprimida.

Una concentradora mayor corre en paralelo, en cualquier momento, unas veinticinco decisiones de densidad comparable. Cada una pasa hoy por un humano o un equipo chico. La

³ERP — Enterprise Resource Planning, el sistema corporativo de registro para finanzas, abastecimiento y operaciones.

brecha entre esa operación y cualquier nivel defendible de autonomía no es si la compañía tiene una IA. La brecha es si cada una de esas veinticinco decisiones fue catalogada, mapeada contra las cinco capacidades que Huang nombró, declarada a un nivel de autonomía que la organización pueda defender frente a un regulador, amarrada a una función objetivo que el directorio respaldó, y cableada con telemetría de anulación que el próximo gerente de planta pueda leer. Ese es el trabajo. El modelo es la parte fácil.

IDEA CLAVE — La calidad de un modelo no significa nada hasta que nombras la decisión a la que sirve. Primero la decisión; después el modelo.

04

EL PATRÓN DEL COMITÉ, Y LOS PILOTOS QUE SÍ PAGARON

Hay una escena que se repite, con variaciones locales, en los comités de tecnología de los productores de la región. Me ha tocado estar en versiones de ella. Un portafolio de pilotos de IA llega a renovación después de dieciocho o veinticuatro meses. Cada piloto cumplió la meta que le dieron: el modelo de mantenimiento subió la disponibilidad de equipos, el de despacho llevó la utilización de la flota a un récord, el de energía recortó el consumo contra la tarifa. Y entonces alguien, casi siempre de finanzas, hace la única pregunta que sobrevive al contacto con un balance: cuál de estos movió el margen. La sala queda en silencio, porque la disponibilidad comprada con overhauls diferidos, la utilización comprada con tramos más largos y la energía ahorrada estrangulando los molinos son tres maneras de mover costo de una cuenta a otra dentro de la misma operación. Cada piloto optimizó lo que le dijeron que optimizara. Nadie les dijo que optimizaran lo mismo.

Esa escena no es una anécdota disfrazada de dato; el dato la corrobora. En el estudio de NTT DATA y MIT Technology Review *Autonomía en el Negocio Minero (2025)*, el 72 % de las organizaciones mineras encuestadas admitió que sus proyectos de autonomía y digitalización entregaron solo parte de los beneficios que esperaban. Solo el 28 % reportó cumplimiento completo. El patrón es cumplimiento parcial: actividad en todas partes, reconciliación en ninguna.

Ahora mira las iniciativas que sí superaron la vara, porque son públicas y comparten una misma elección de diseño. En la operación Bagdad de Freeport-McMoRan, en Arizona, apuntaron un modelo de machine learning a la propia concentradora: clasificaba la alimentación del molino en tipos de mineral a partir de datos de sensores y recomendaba setpoints de operación. Los resultados publicados: tratamiento arriba cerca de 10 % en un trimestre, y recuperación metalúrgica arriba alrededor de un punto porcentual, un resultado que la compañía describió como miles de toneladas de cobre adicionales con muy poca inversión de capital, en un momento en que la alternativa sobre la mesa era una expansión de capital de la planta. Más cerca de casa, Antofagasta Minerals reporta en su Memoria Anual 2025 que

su propio sistema de recomendaciones operacionales, desplegado en sus plantas, subió la recuperación en Centinela en tres cuartos de punto porcentual y en Antucoya en un margen similar, junto a ahorros medidos de ácido y agua. Compañías distintas, herramientas distintas, el mismo sello de diseño: la IA quedó amarrada a la variable metalúrgica que reconcilia directo con el margen, no contra el KPI⁴ local de un departamento.

Por qué la recuperación es la variable por la que vale la pena pelear es cosa de aritmética pública. Una operación de clase mundial como Escondida produce más de 1,2 millones de toneladas de cobre al año con recuperaciones de flotación de sulfuros que típicamente se ubican en torno al 86 %. Saca la cuenta: un punto porcentual adicional de recuperación a esa escala es del orden de diez a quince mil toneladas de cobre al año; a precios vigentes, cerca de cien millones de dólares anuales, cada año que se sostiene. Ese es el orden de magnitud que está sentado detrás de una elección de diseño, y es por eso que la pregunta “a qué variable está amarrado este piloto” vale más que cualquier pregunta sobre el modelo.

El patrón del comité y los éxitos públicos son dos mitades de una misma observación. Los pilotos que se estancan no son fallas de inteligencia; los modelos en general funcionan. Son fallas de alcance: cuatro inteligencias compradas, cero espacios decisionales diseñados. Los que pagaron respondieron, a veces casi por accidente, las cuatro preguntas antes de escribir el alcance: qué decisión, a qué autonomía, bajo qué función objetivo, con qué telemetría. El resto de este documento trata de eliminar el “por accidente”.

IDEA CLAVE — Los pilotos que pagan están amarrados a la variable que reconcilia con el margen. A escala de concentradora de clase mundial, un punto porcentual de recuperación metalúrgica vale del orden de US\$ 100 millones al año. El modelo que lo encuentra cuesta una fracción de eso; el diseño que permite encontrarlo cuesta disciplina.

05

CINCO CAPACIDADES, LEÍDAS COMO ORDEN DE CONSTRUCCIÓN

Vuelve a la frase de Huang de 2022 y léela como un arquitecto de sistemas lee una especificación, no como una audiencia escucha un keynote. Nombró cinco capacidades en secuencia: reconocer patrones, reconocer relaciones, razonar, predecir, planificar una acción. Leídas como orden de construcción, esas cinco capacidades son cinco capas de una arquitectura operativa autónoma. El mapeo no es una metáfora. Es uno a uno, y la correspondencia es la observación sobre la que se apoya todo este documento.

En el modelo operativo autónomo que NTT DATA diseña para concentradoras de cobre de clase mundial, el componente que coordina la cadena completa es una capa de orquestación

⁴KPI — Key Performance Indicator, indicador clave de desempeño.

con foco en el óptimo global: una capa que se ubica por encima de los sistemas de dominio de mina, planta, logística y servicios transversales, y resuelve sus conflictos a favor de la operación como un todo. Esa capa se descompone exactamente a lo largo de los cinco verbos de Huang:

- **Reconocer patrones** se vuelve detección sobre los datos vivos del DCS⁵ y el historial. La capa sensora lee lo que la planta está haciendo ahora.
- **Reconocer relaciones** se vuelve un modelo causal con validación anti-alucinación explícita: antes de actuar sobre cualquier relación, la capa confirma que la relación es causal y no una coincidencia en los datos.
- **Razonar** se vuelve la resolución de los cerca de diez trade-offs inter-dominio que la capa de orquestación carga, la misma clase de trade-off que el setpoint único de la sección 03 expuso, ahora resueltos a la vez entre mina, concentradora, transporte y servicios transversales.
- **Predecir** se vuelve un motor de escenarios que reporta resultados como bandas de confianza, los percentiles diez, cincuenta y noventa (P10/P50/P90) del margen de contribución, no una estimación puntual engañosa.
- **Planificar una acción** se vuelve un set de escenarios operativos proyectados sobre horizontes de preparación, ramp-up y régimen.

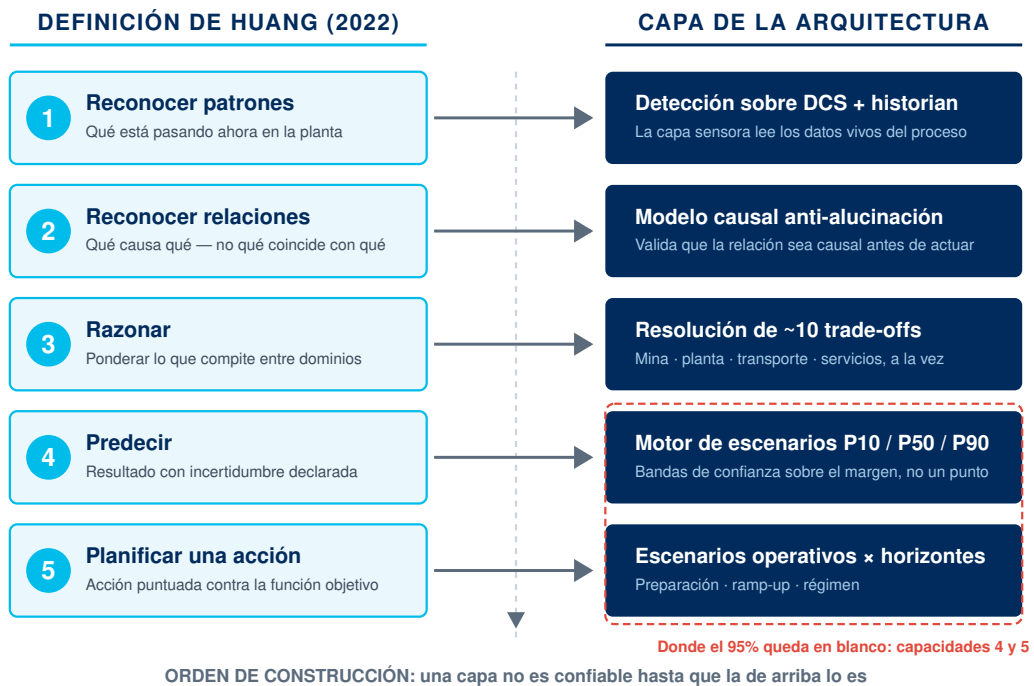


Figura 1 Las cinco capacidades de inteligencia de Huang mapeadas una a una contra cinco capas de una arquitectura de orquestación con foco en el óptimo global en una concentradora de cobre

La razón por la que el mapeo le importa a un directorio no es su elegancia. Importa porque convierte una pregunta vaga (¿nuestra IA es suficientemente buena?) en una verificable (¿cuál de estas cinco capas existe, para qué decisión?). Un programa que construyó reconocimiento de patrones y se detuvo ahí construyó un quinto de una inteligencia y lo declaró

⁵DCS — Distributed Control System, la capa de control de procesos en tiempo real de una planta.

terminado. Así se ve la mayoría del 95 % desde adentro: excelente en la primera capacidad, en blanco en la cuarta y la quinta.

06

CUANDO EL MODELO NO CUESTA NADA, EL MARGEN SE MUDA AL DISEÑO

Toma en serio por un momento la afirmación del commodity, y después pruébala contra sus propios límites.

Si las cinco capacidades escalan con cómputo y datos, y el cómputo y los datos se compran a precios que caen, la inteligencia converge hacia un insumo commodity. La reducción publicada de diez veces en el costo de inferencia por token de Vera Rubin es esa convergencia expresada como lista de precios. Los mismos pesos de modelo que leen tu concentradora pueden leer la de tu competidor. La diferenciación no puede vivir en los pesos, porque los pesos están a la venta para ambos. Vive en aquello a lo que apuntas la inteligencia, y en cómo la restringes. Eso es el diseño del espacio decisional, y no está a la venta, porque es función de las decisiones específicas de tu operación, de tu tolerancia al riesgo específica y de tu función objetivo específica.

La honestidad sobre la evidencia afila el argumento en vez de ablandarlo. Las declaraciones de Huang son la posición de un CEO articulada en keynotes y entrevistas, no investigación revisada por pares; es la parte más interesada posible, y su tesis debe pesarse como tal. El 95 % de MIT NANDA es una señal direccional construida sobre entrevistas, no una medición precisa de la población empresarial global. El 72 % de cumplimiento parcial del estudio de minería de NTT DATA y MIT Technology Review corrobora la dirección dentro de una cohorte vertical sin precisar la magnitud. Y el contrapeso individual más fuerte viene del laboratorio de un operador: los ingenieros de Boliden publicaron que su controlador de aprendizaje por refuerzo para el molino de Aitik superó a la estrategia de control existente en simulación, y luego dijeron sin vueltas que se necesitaba más estudio antes de que pudiera acercarse a un despliegue de producción viable. Ninguna de estas es un instrumento de precisión. Todas apuntan en la misma dirección, y la respuesta arquitectónica es invariante a lo largo de sus márgenes de error: diseña primero el espacio decisional, compra la inteligencia para ponerla adentro después.

Hay una distinción más profunda que el directorio debería sostener. El 95 % son dos problemas distintos debajo de un mismo número. Una parte es una brecha de comprensión: la organización nunca escribió qué decisión es dueña la IA, así que la pregunta por el retorno nunca fue responsable. Esa parte es corregible. Se disuelve en el momento en que las cuatro preguntas se responden, porque las respuestas son información que la organización puede producir sola. La otra parte es estructural: cada dominio tiene su propio incentivo para optimizar su propio KPI, y ninguna cantidad de mejores tableros reconcilia a un equipo de mantenimiento evaluado por disponibilidad con un equipo de metalurgia evaluado por recuperación. Esa parte no se disuelve con información. Requiere un acto de gobernanza, la imposición de una función objetivo única por encima de los silos, que es el tema de la

próxima sección. Confundir las dos lleva al error estándar: comprar más inteligencia para arreglar un problema que una mejor inteligencia no puede tocar.

IDEA CLAVE — La advertencia honesta es también la frontera: ningún operador ha publicado todavía una orquestación cross-dominio completa, validada, corriendo sobre margen en cobre. Los líderes publican victorias de planta única. El óptimo global todavía se está construyendo, y exactamente por eso la carrera está en la disciplina de diseño, no en el modelo.

07

EL BUG QUE NUNCA LANZA UN ERROR

El defecto más caro del 95 % no tiene stack trace, ni alarma, ni mensaje de error. Es la función objetivo ausente.

Una organización instala inteligencia en sus dominios sin declarar, en una sola ecuación contra la que se evalúa la operación completa, qué está tratando de maximizar. En ese vacío, cada agente hace lo racional: optimiza el objetivo local que le entregaron. El agente de mantenimiento maximiza disponibilidad. El de despacho maximiza utilización. El de energía minimiza la tarifa. Cada uno es localmente correcto. La suma es subóptima, porque los óptimos locales chocan, y no hay árbitro que resuelva el choque a favor del todo. El patrón del comité de la sección 04 es una fotografía forense de exactamente este estado.

La capa de orquestación lo resuelve con una ecuación que se impone por encima de todos los dominios y sirve como único norte:

$$\text{margen de contribución} = \text{tonelaje} \times \text{ley} \times \text{recuperación} \times \text{precio} - \text{costo de operación}$$

La recomendación local de cada agente se puntúa contra su efecto en ese número antes de que se le permita actuar. La recomendación de mantenimiento que sube la disponibilidad pero difiere un overhaul hacia una campaña de alta ley se rechaza, porque la ecuación puede ver la recuperación que costaría. Esto no es un KPI más sofisticado. Es la precondition que hace que cualquier KPI tenga sentido, porque le da a la capa de orquestación una manera de rankear recomendaciones en conflicto de dominios que, si no, declararían victoria cada uno por su lado.

El rol del directorio aquí es específico e indelegable. La función objetivo es una declaración de lo que la compañía valora, expresada en una unidad que reconcilia entre dominios. Un proveedor no puede escribirla, porque un proveedor no es dueño del trade-off entre el costo de este trimestre y la recuperación del próximo año. Sus dueños son el CFO y el COO. Y en nuestra experiencia, la parte difícil no es el álgebra; es el momento de gobernanza en que dos ejecutivos que nunca han compartido un marcador se ponen de acuerdo, por escrito, sobre quién es dueño del término de recuperación. Si esa ecuación no existe en papel, el programa de IA no tiene un problema de puntería. Tiene un problema de blanco.

IDEA CLAVE — Una función objetivo no es un KPI. Es la precondition que hace que los KPI tengan sentido. Y ningún modelo, a ningún precio, resuelve un problema de blanco.

08

QUÉ PREGUNTAR ANTES DE FINANCIAR EL PRÓXIMO PILOTO

Una vez que la función objetivo existe y las decisiones están catalogadas, la conversación con un proveedor cambia de forma. La pregunta heredada (¿qué tan bueno es tu modelo?) deja de tener respuesta útil, porque la calidad de un modelo no significa nada hasta que especificas la decisión a la que sirve. Cuatro preguntas la reemplazan, y cada una es operacional, cada una se traduce en una línea de un alcance de trabajo, y cada una es defendible frente a un CFO que no habla el vocabulario de la IA.

Para cualquier decisión que la inteligencia proponga tocar, el directorio pregunta: ¿Qué decisión específica de la cadena es suya? ¿A qué nivel de autonomía opera? ¿Contra qué función objetivo se puntúa su recomendación? ¿Y qué telemetría de anulación le permite a un humano ver y revertir su acción? El nivel de autonomía no es una perilla que el proveedor fija; lo gobierna la confianza que la capa causal pueda demostrar, sobre la escalera que Parasuraman, Sheridan y Wickens formalizaron en 2000: soporte a la decisión, aumentación de la decisión y automatización de la decisión, con el nivel de automatización reservado para relaciones que la capa causal puede validar con confianza alta, y con la exigencia de telemetría de anulación subiendo en cada peldaño. Una decisión corriendo en automatización plena con telemetría escasa es la configuración más peligrosa que un directorio puede financiar, porque es autónoma e inimputable al mismo tiempo.

LAS 4 PREGUNTAS DE DISEÑO

- 1 · ¿Qué decisión posee?**
Una decisión específica de la cadena, nombrada — no un dominio difuso
- 2 · ¿A qué nivel de autonomía?**
Lo gobierna la confianza causal demostrada, no una perilla del proveedor
- 3 · ¿Contra qué función objetivo?**
Una sola ecuación, dueño CFO + COO:
 $\text{margen} = \text{ton} \times \text{ley} \times \text{recup} \times \text{precio} - \text{costo}$
- 4 · ¿Con qué telemetría de override?**
Un humano puede ver la acción y revertirla — sube con cada peldaño

ESCALERA DE AUTONOMÍA (PARASURAMAN 2000)

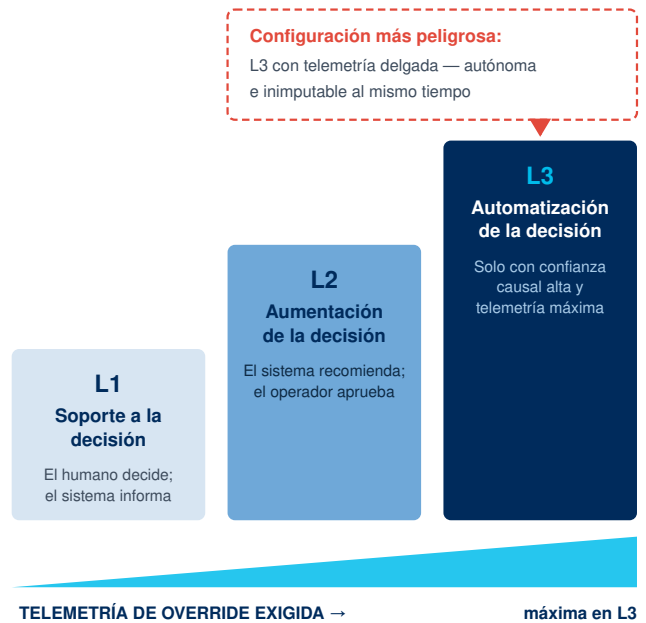


Figura 2 Las cuatro preguntas de diseño cruzadas contra la escalera de autonomía de tres niveles, con la intensidad de telemetría de anulación subiendo con la autonomía

PREGUNTA DIAGNÓSTICA *Para la propuesta de IA que está ahora sobre tu escritorio: ¿puede el responsable nombrar la decisión única que posee, el nivel de autonomía, la función objetivo contra la que se puntúa y la telemetría de anulación, en cuatro frases, sin láminas? Si no, estás financiando una inteligencia sin espacio decisional.*

La fricción que nadie pone en el folleto: construir este catálogo no es un ejercicio de datos, es una serie de entrevistas con personas a las que nunca les han pedido escribir qué deciden. Los operadores senior que cargan las veinticinco decisiones en la cabeza suelen ser los últimos consultados y los primeros que la automatización deja fuera. Catalogar con ellos, y no sobre ellos, es la diferencia entre un espacio decisional que sobrevive a su primer turno de noche y uno que la gente que sabe más termina puenteando en silencio.

Tabla 1 Catálogo del espacio decisional · cuatro ejemplos representativos

Decisión · cadencia · decisor actual	Trade-offs que resuelve	Sensibilidad al margen	Sustrato de información	Autonomía
Setpoint de reactivos rougher · horaria/turno · operador de proceso	Recuperación vs. reactivos; recuperación vs. relaves; confianza en el instrumento vs. historian	USD 2–5M/año	DCS, historian, LIMS, analizador en línea	L1 · pantalla asesora
Setpoint velocidad/carga SAG · ciclo 15 min · sala de control	Tratamiento vs. desgaste de revestimientos; tratamiento vs. densidad de pulpa	USD 4–8M/año	DCS, historian, vibración, modelo de dureza	L2 · el operador aprueba
Secuencia semanal de mantenimiento · semanal · planificación	Disponibilidad vs. timing de campaña; diferir overhaul vs. riesgo de falla	USD 3–6M/año	CMMS, historian, criticidad, plan minero	L1 · revisión y aprobación
Lote de embarque de concentrado · mensual · comercial + operaciones	Ley vs. multa contractual; puerto vs. acopio; mezcla vs. especificación del cliente	USD 5–15M/año	LIMS, MES, ERP, logística portuaria, forward de precio	L1 · firma humana

Un catálogo completo de concentradora corre entre 20 y 30 filas. Las cuatro de arriba cruzan operaciones, mantenimiento y comercial — los tres dominios donde la optimización de silo choca con más seguridad cuando la función objetivo está ausente.

09

CUANDO LA AUTOMATIZACIÓN ES SOLO LAVADO DE DECISIONES

Un directorio que acepta este argumento va a empezar a ver programas que parecen espacios decisionales diseñados y no lo son. Tres imitaciones se repiten, y cada una falla de la misma manera bajo una sola pregunta diagnóstica.

La primera es el teatro de decisiones: un modelo que produce predicciones en un tablero mientras cada decisión real sigue pasando por los mismos humanos de siempre. Parece aumentación. La pregunta detectora: ¿qué decisión cambió de dueño cuando esto entró en producción? Si la respuesta es ninguna, compraste un visor, no un sistema de decisión, y su retorno es el valor de la pantalla, que es más o menos cero.

La segunda es la optimización de silo vestida con el lenguaje de la orquestación. Cada dominio tiene un modelo, cada modelo tiene un objetivo, y no hay ecuación por encima de ellos. Parece una operación autónoma. La pregunta detectora: ¿hay un número único contra el que se puntúa cada agente, o cada dominio mantiene su propio marcador? Si cada uno mantiene el suyo, financiaste por adelantado la escena del comité de la sección 04.

La tercera es el lavado de decisiones: una decisión declarada en automatización plena sin telemetría que le permita a un humano ver lo que el modelo hizo o revertirlo. Parece madurez y confianza. La pregunta detectora: cuando el modelo actuó el martes pasado, ¿quién lo vio, y podría haberlo detenido? Si la acción es invisible hasta que aparece en un reporte mensual, la autonomía no es una capacidad. Es una brecha de imputabilidad con nombre elegante.

Cada imitación pasa una revisión casual porque cada una produce actividad, y la actividad se lee como progreso. Ninguna sobrevive a la pregunta de qué decisión se movió, bajo qué función objetivo, con qué visibilidad. Esa pregunta es la auditoría completa.

10

DEUDA INTELIGENTE: EL PASIVO QUE SE ACUMULA SIN FACTURA

Hay una metáfora de balance que un CFO va a reconocer de inmediato, y es el marco más útil que ofrece este documento. Instalar inteligencia sin diseñar el espacio decisional crea un pasivo que se acumula en silencio, como se acumula la deuda, hasta que algo fuerza un refinanciamiento.

El mecanismo es concreto. Cada piloto sin diseño crea una dependencia: un modelo en producción, una integración al historian, un equipo que ahora lee su salida, una expectativa en la rutina operativa. Nada de eso está amarrado a la función objetivo, así que nada de eso produce margen, pero todo produce costo y obligación. El interés de esta deuda es la atención gerencial gastada en mantener pilotos que no se pueden defender, la credibilidad gastada cada vez que el directorio pregunta por un retorno que no existe, y el costo de oportunidad de los puntos de recuperación que quedaron sobre la mesa porque el único piloto que podía encontrarlos nunca fue dimensionado. El principal vence en la revisión de portafolio, cuando un CTO tiene que pararse frente a la escena del comité de la sección 04 y castigar la mayor parte del portafolio.

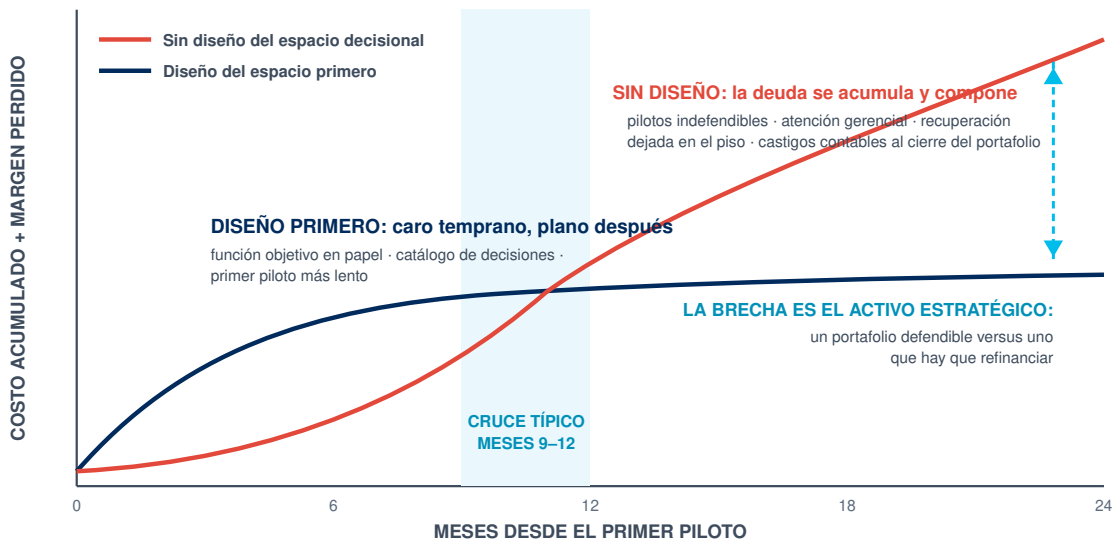


Figura 3 El costo asimétrico en el tiempo de no diseñar el espacio decisonal versus diseñarlo, con el punto de cruce y la divergencia residual marcados

La asimetría es el punto. Diseñar primero el espacio decisonal es caro temprano: fuerza a sacar la función objetivo de las cabezas y ponerla en papel, fuerza el catálogo de decisiones, y hace más lento el primer piloto. Saltarse ese diseño es barato temprano y ruinoso tarde. La elección que enfrenta un directorio en 2026 no es si gastar en IA. Es si pagar el costo de diseño ahora, en caja y disciplina, o pagar la deuda después, en castigos contables y recuperación perdida. No hacer nada no es la opción barata. Es la opción que acumula un interés que no puedes ver hasta que el principal vence.

11

EL TEST QUE PUEDES CORRER SOBRE UN PILOTO ESTA SEMANA

Este argumento es falsable en tu propia operación, y el test toma un piloto y una tarde. Elige cualquier iniciativa de IA financiada hoy. Para la decisión única que dice poseer, escribe las cinco capacidades de Huang aplicadas a esa decisión exacta:

1. Reconocer patrones: nombra los datos vivos que el piloto lee y el patrón que detecta.
2. Reconocer relaciones: nombra la relación causal sobre la que actúa, y cómo se validó como causal y no como coincidencia.
3. Razonar: nombra el trade-off que resuelve y qué pondera contra qué.

4. Predecir: nombra el resultado que pronostica y si lo reporta como banda de confianza o como número único.
5. Planificar una acción: nombra la acción que toma o recomienda, y a qué nivel de autonomía.

El resultado es binario. Si puedes escribir las cinco para esa decisión sin ambigüedad, el piloto tiene arquitectura, y su retorno es una cuestión de ejecución. Si alguna de las cinco queda en blanco, ese blanco es el bug, y en nuestra experiencia el blanco cae casi siempre en la capacidad cuatro o cinco: el piloto reconoce patrones de manera impecable y ni predice en bandas de confianza ni planifica una acción puntuada. Ese blanco es la huella arquitectónica que el 95 % deja atrás, visible sobre una sola decisión en una sola tarde.

Córrelo sobre tres pilotos antes de la próxima reunión de directorio. Los que quedan completamente escritos son los que vale la pena volver a financiar. Los que quedan con un blanco en la fila cuatro o cinco no son fallas de inteligencia que se arreglen con un modelo mejor. Son decisiones que no terminaste de diseñar. Termina el diseño, o cierra el piloto. Ambas son defendibles. Volver a financiarlo sin cambios no lo es.

Una última confusión que evitar. Este argumento no es un alegato a favor de un modelo mejor: un modelo mejor mejora las primeras tres capacidades y deja el blanco en la cuarta o la quinta exactamente donde estaba. No es un alegato por mejores datos, que es el mismo error una capa más abajo. Y no es un alegato por un comité de gobernanza de IA, porque un comité produce una postura mientras que un espacio decisional es una especificación que puedes auditar. Cada afirmación adyacente mejora la inteligencia. La afirmación de este documento es que la inteligencia ya es el commodity; el trabajo que queda es una descripción de las decisiones de tu propia operación, escrita en tu propia función objetivo, con tu propio directorio como dueño.

Huang le dio a la industria en 2022 una definición que sonó a asombro, y en junio de 2026 la declaró entregada. Leída desde la segunda cláusula, siempre fue una instrucción. La inteligencia es barata y se sigue abaratando. Lo que sigue escaso es saber qué decisiones existen en tu operación, a qué nivel de autonomía debería correr cada una, bajo qué función objetivo única, con qué telemetría que un humano pueda leer. Compra el commodity. Diseña el espacio.

IDEA CLAVE — Compra el commodity. Diseña el espacio.

12

IDEAS CLAVE

¹ La inteligencia se volvió la línea más barata del presupuesto de IA. El activo escaso es el diseño del espacio decisional: qué decisiones existen, a qué autonomía, bajo qué función objetivo, con qué telemetría de anulación. Ese diseño no está a la venta, porque es una descripción de tu propia operación.

2 Huang sostiene la misma definición funcional de inteligencia desde 2022 y la declaró cumplida en GTC Taipei en junio de 2026. Cuando el proveedor de la inteligencia se pasa cuatro años diciéndote que la inteligencia es el commodity, la diferenciación ya se movió hacia aquello a lo que la apuntas.

3 La calidad de un modelo no significa nada hasta que nombras la decisión a la que sirve. Primero la decisión; después el modelo.

4 Los pilotos que pagan están amarrados a la variable que reconcilia con el margen. A escala de concentradora de clase mundial, un punto porcentual de recuperación metalúrgica vale del orden de US\$ 100 millones al año. El modelo que lo encuentra cuesta una fracción de eso; el diseño que permite encontrarlo cuesta disciplina.

5 La advertencia honesta es también la frontera: ningún operador ha publicado todavía una orquestación cross-dominio completa, validada, corriendo sobre margen en cobre. Los líderes publican victorias de planta única. El óptimo global todavía se está construyendo, y por eso la carrera está en la disciplina de diseño, no en el modelo.

6 Una función objetivo no es un KPI. Es la precondition que hace que los KPI tengan sentido. Y ningún modelo, a ningún precio, resuelve un problema de blanco.

13

FUENTES

1. Thompson, B. — *An Interview with Nvidia CEO Jensen Huang about Manufacturing Intelligence* — Stratechery, 2022. Fuente primaria de la definición funcional de inteligencia citada en §02. stratechery.com/2022/an-interview-with-nvidia-ceo-jensen-huang-about-manufacturing-intelligence/
2. Huang, J. — Intervención en la Cambridge Union, 4 de noviembre de 2025 — “Intelligence is about to be a commodity”. Cobertura: news.futunn.com/en/post/65135996/
3. Fridman, L. — *Lex Fridman Podcast #494: Jensen Huang*, 23 de marzo de 2026 — afirmación de AGI alcanzada (definición funcional, cualificada) y la distinción commodity-versus-humanidad. lexfridman.com/jensen-huang/ · Cobertura: Fortune, 30 de marzo de 2026.
4. NVIDIA — Keynote de Jensen Huang, GTC Taipei, 1 de junio de 2026 — “agentic AI has arrived... useful AI has arrived”; tokens como unidades rentables de ingreso; Vera Rubin a producción plena. Cobertura: SiliconANGLE, 1 de junio de 2026. La frase “utterly parabolic” sobre la demanda es de Huang en Dell Technologies World, 18 de mayo de 2026 — blogs.nvidia.com/blog/dell-technologies-agent-enterprise-ai/.
5. MIT Project NANDA — *The GenAI Divide: State of AI in Business 2025*, julio de 2025 — ~95 % de las iniciativas GenAI empresariales sin retorno medible; señal direccional construida sobre entrevistas. github.com/aidecentralized/nandapapers · Cobertura: Fortune, 18 de agosto de 2025.
6. NTT DATA × MIT Technology Review en Español — *Autonomía en el Negocio Minero: Más Allá de la Tecnología, el Desafío del Talento y la Cultura*, fines de 2025 — 72 % de las organizaciones mineras encuestadas reportó que sus proyectos entregaron solo parte de los beneficios esperados. Cobertura: Mexico Business News.
7. Parasuraman, R., Sheridan, T.B., Wickens, C.D. — *A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation* — IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, 30(3), 2000. DOI 10.1109/3468.844354.
8. International Copper Association — *Freeport-McMoRan Looks to the Future with Artificial Intelligence*, julio de 2020 — programa de ML en Bagdad: clasificación de tipos de mineral (siete tipos), ~10 % de mayor tratamiento, +9.000 toneladas de cobre, expansión de capital evitada. internationalcopper.org. El alza de recuperación de +1 punto porcentual y el tratamiento trimestral de ~85.000 t/día están documentados en análisis publicados independientes del mismo despliegue de Bagdad.
9. Antofagasta plc — *Memoria Anual / Annual Report 2025* — resultados del sistema SIRO / de recomendaciones operacionales: recuperación +0,75 pp en Centinela (y +1 % de tratamiento), +0,8 pp en Antucoya, ahorros de ácido sulfúrico y agua. antofagasta.co.uk/media/4905/49913-antofagasta-ar25-web-ready.pdf · Cobertura: International Mining, marzo de 2026.

10. Boliden — *Can AI Optimize Our Processes?* — el control de molino por aprendizaje por refuerzo en Aitik superó al control existente en simulación; se requiere más estudio antes de un despliegue de producción. boliden.com/news/can-ai-optimize-our-processes/
11. BHP — *BHP and Microsoft use AI to lift Escondida copper recovery*, 30 de mayo de 2023, y *AI is improving performance across global mining operations*, enero de 2026 — alcance del programa y ahorros reportados de agua y energía; líneas base de producción y recuperación usadas en la aritmética de §04. bhp.com

NTT DATA · Natural Resources Practice · 2026 · biztalksnttdata.com

Para más sobre este tema, contacta a: **Jaime Rebolledo**, Director Value Proposition Mining, NTT DATA · jaime.rebolledocampos@nttdata.com.