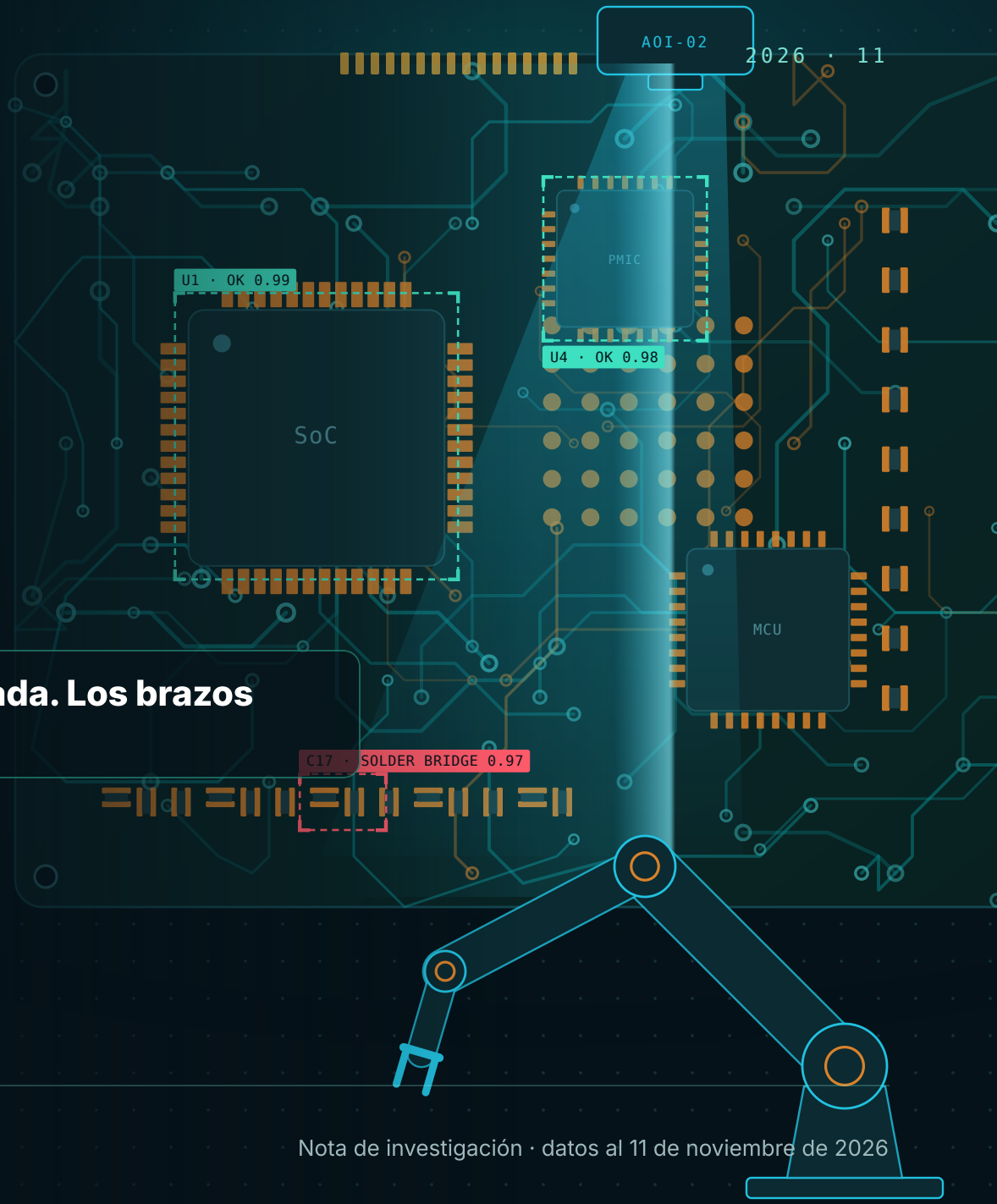


FABRICACIÓN ELECTRÓNICA · INSPECCIÓN CON IA × ROBÓTICA

La IA en la línea SMT:

qué se amortiza en 2026

Inspección visual con IA y brazos robóticos en fábricas de electrónica

China continental · Taiwán · Sudeste Asiático · Estados Unidos

HALLAZGO CLAVE

La revisión con IA merece la pena, de forma acotada. Los brazos corporeizados pueden esperar.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Nota de investigación · datos al 11 de noviembre de 2026

Merece la pena, pero de forma acotada, ahora y con socios

HALLAZGO CLAVE

Lo que está maduro en 2026, y por lo que las plantas pagarán, es la revisión con IA y la inspección de nicho sobre imágenes de AOI, más la alimentación programada de máquinas con robots, no «un modelo grande mirando placas más robots corporeizados recogiéndolas».

0.46–0.65 yr

Retorno de la revisión con IA en EE. UU., Taiwán y Shenzhen, a RMB 50k por línea

≥95% · <20 PPM

La revisión con IA interna de una EMS líder: el listón para vender a EMS de primer nivel

100–700 RMB M

Mercado de reacondicionamiento de terceros aprovechable en China continental, pago único, ventana de ≈5 años

0 scores

Puntuaciones en pruebas de defectos industriales de los modelos insignia de noviembre de 2026

1.1–1.5 yr

Retorno de una célula de alimentación de máquinas con cobot, dos turnos

0.003–0.14 FTE

Mano de obra que ahorra por turno un brazo robótico de retirada: nunca se amortiza

Fuente: resumen ejecutivo del informe y capítulos 4–5; las cifras de retorno y de mercado son estimaciones del autor.

Seis preguntas, seis respuestas

① Qué ejecutan las plantas

SPI 3D, AOI antes y después del reflujo, rayos X por muestreo, ICT/FCT. Detrás de cada AOI hay una persona revisando; takt ≈13–22 s por placa.

② Hasta dónde llega la tecnología

La inspección es de grado industrial como detector + revisión con IA + unas pocas personas; no cero personas a ningún precio. Continente: modelos nacionales; Taiwán: decide el cliente; EE. UU.: aranceles y certificación.

③ En local y aislado de la red

Práctico; los límites son de procedimiento. Una caja sin ventilador de ≤100 W en la línea, servidores en la sala de servidores, 8 bits por defecto.

④ Profesor y alumno

Inspección: los modelos de frontera pre-etiquetan, las personas arbitran, un conjunto dorado hace de puerta. Brazos: los profesores siguen siendo demostraciones humanas y simulación.

⑤ Coste y retorno

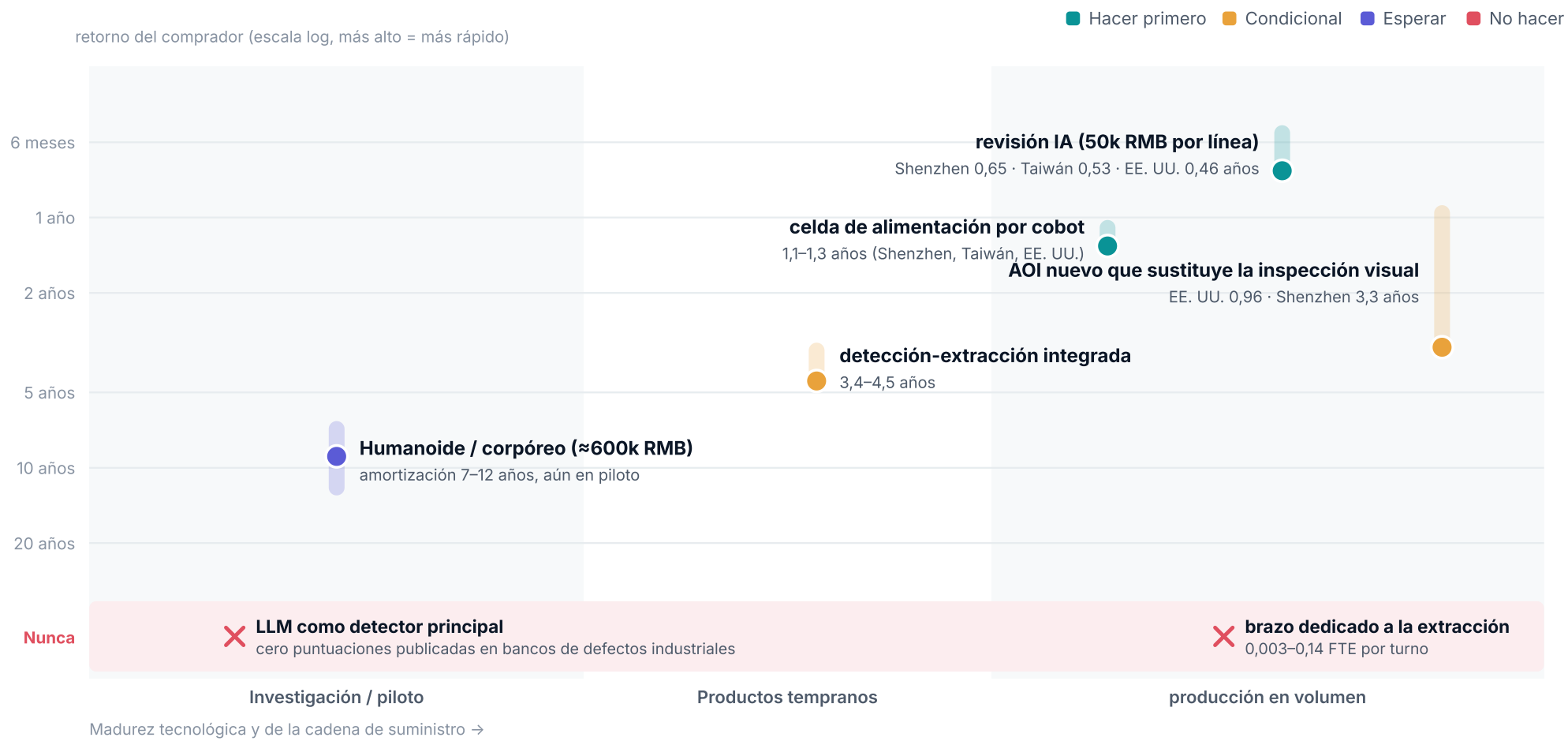
Revisión con IA en menos de un año en EE. UU., Taiwán y Shenzhen; alimentación con cobot 1.1–1.5 años; Sudeste Asiático 2–6 años; un brazo de retirada nunca.

⑥ Ahora o esperar

Demanda real, oferta saturada; la IA de los OEM deja una ventana de reacondicionamiento de ≈5 años. Inspección ahora, de forma acotada; IA corporeizada después de los datos de 2027–28.

Fuente: resumen ejecutivo del informe.

Dónde encaja la IA hoy en la planta

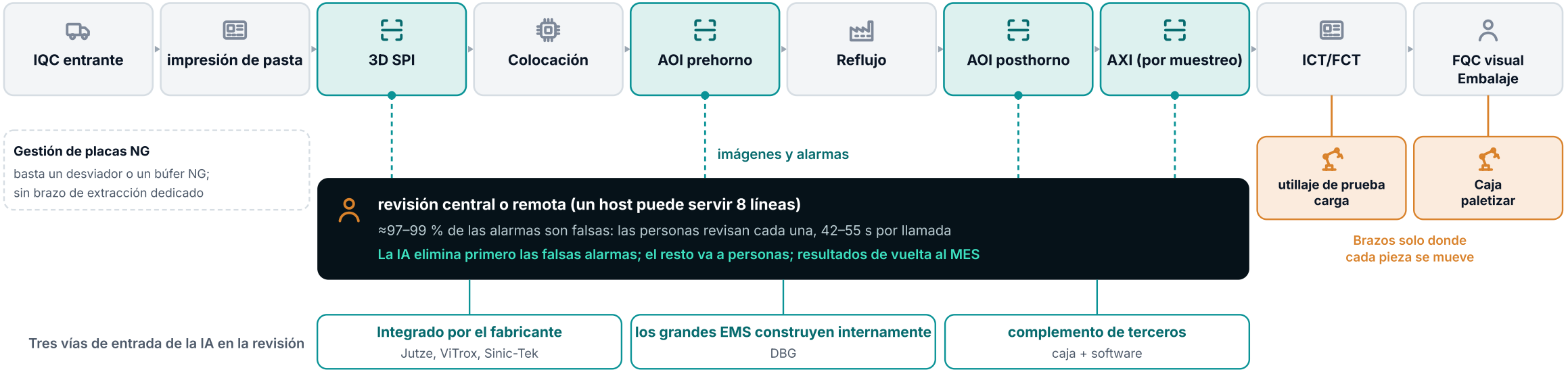


Fuente: Amortización del modelo del autor (capítulo 4); el eje de madurez es un juicio del autor.

Las personas se sientan detrás del AOI. Ahí es donde entra la IA

Una línea SMT en volumen

takt ≈13–22 s por placa · 3–5 AOI por línea



Fuente: Documentos públicos y material de proveedores (Huaqin, DBG, Sinic-Tek y otros); compilado por el autor.

Alrededor del 97–99 % de las alarmas AOI son falsas

Por cada 100 alarmas AOI



Hoy: las personas revisan cada alarma

42–55 s cada uno

≈448 falsas alarmas por turno en una línea ocupada

→ 5,2–6,8 h por turno ≈ 1 revisor a tiempo completo

dotación del caso: 2 por turno

revisión IA: eliminar falsas alarmas, pasar el resto a personas

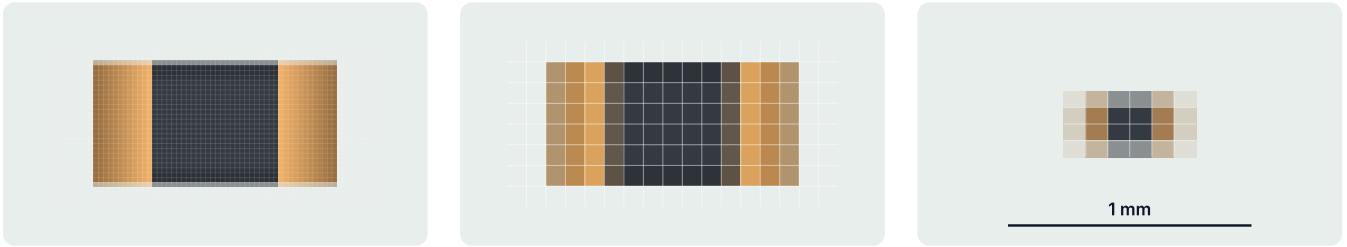
falsas alarmas u horas de revisión reducidas 60–90 % (afirmaciones del proveedor)

referencia interna de grandes EMS: cubre ≥95 % de los componentes marcados, escapes <20 PPM, revisión humana reducida ≥85 %

apertura por fallo a personas, la línea sigue

Fuente: Caso de estudio Siemens, iFactory (afirmación del proveedor), informe anual DBG 2025; horas de revisión estimadas por el autor.

Una cámara de uso general no es un AOI



AOI: 8–20 µm por píxel
0402 ≈ 100×50 px

Cámara 4K sobre un panel de 300 mm: ≈78 µm/px
El 0402 se reduce a ≈13×6 px: solo alcanza para presencia y desviación gruesa

Misma cámara sobre un 01005
≈5×3 px: efectivamente invisible

- **AOI:** 8–20 µm por píxel, iluminación multiángulo multicolor y luz estructurada
- **4K sobre un panel de 300 mm:** ≈78 µm por píxel; un 0402 son ≈13×6 píxeles, suficiente para la presencia, no para las soldaduras
- **01005:** ≈5×3 píxeles, efectivamente invisible
- **Así pues:** la IA trabaja sobre las propias imágenes del AOI; no sustituye la óptica

Fuente: Circuits Assembly; cálculo del autor para un panel de 300 mm y un sensor 4K. Las rejillas de píxeles son ilustrativas.

Un despliegue aislado de la red: la caja decide, la sala de servidores responde



Fuente: Síntesis del autor (capítulo 2).

Las zonas limpias y de ESD deciden dónde se ubica el cómputo; los límites de velocidad dependen del uso

Limpieza →

nave SMT/PCBA ordinaria	sala limpia ISO 7–8	minientorno ISO 5–6	fab, ISO 5 o más limpio
zona protegida ESD (≈ISO 8) HR 40–60 %	médico, módulos de cámara, VE sala limpia + ESD	dado desnudo, wire bond, óptica minientorno	SEMI E78 ESD · E187/E188 ciber planes específicos de fab
cómputo en línea caja sin ventilador con carcasa metálica a tierra, cerca del AOI o del puesto de revisión	**cómputo en línea** Sin ventilador, sellado IP65/66, fácil de limpiar; pedir datos ISO 14644-14	**cómputo en línea** Solo cámaras y luces; la caja de cálculo fuera	**cómputo en línea** solo controladores integrados en la herramienta y certificados para fab
servidor GPU/NPU sala de máquinas o armario TI climatizado	**servidor GPU/NPU** fuera de la sala limpia, red hacia dentro	**servidor GPU/NPU** Sala de máquinas	**servidor GPU/NPU** armarios refrigerados por líquido en la subfab o centro de datos



Punto clave Una sala SMT ordinaria es un área protegida contra ESD, no una sala limpia clasificada: una caja sin ventilador en una carcasa metálica conectada a tierra se coloca en el AOI o en el puesto de revisión, y los servidores GPU nunca van a la línea.

Fuente: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, normas SEMI y material de proveedores; compilado por el autor. Síntesis del autor (capítulos 1–2).

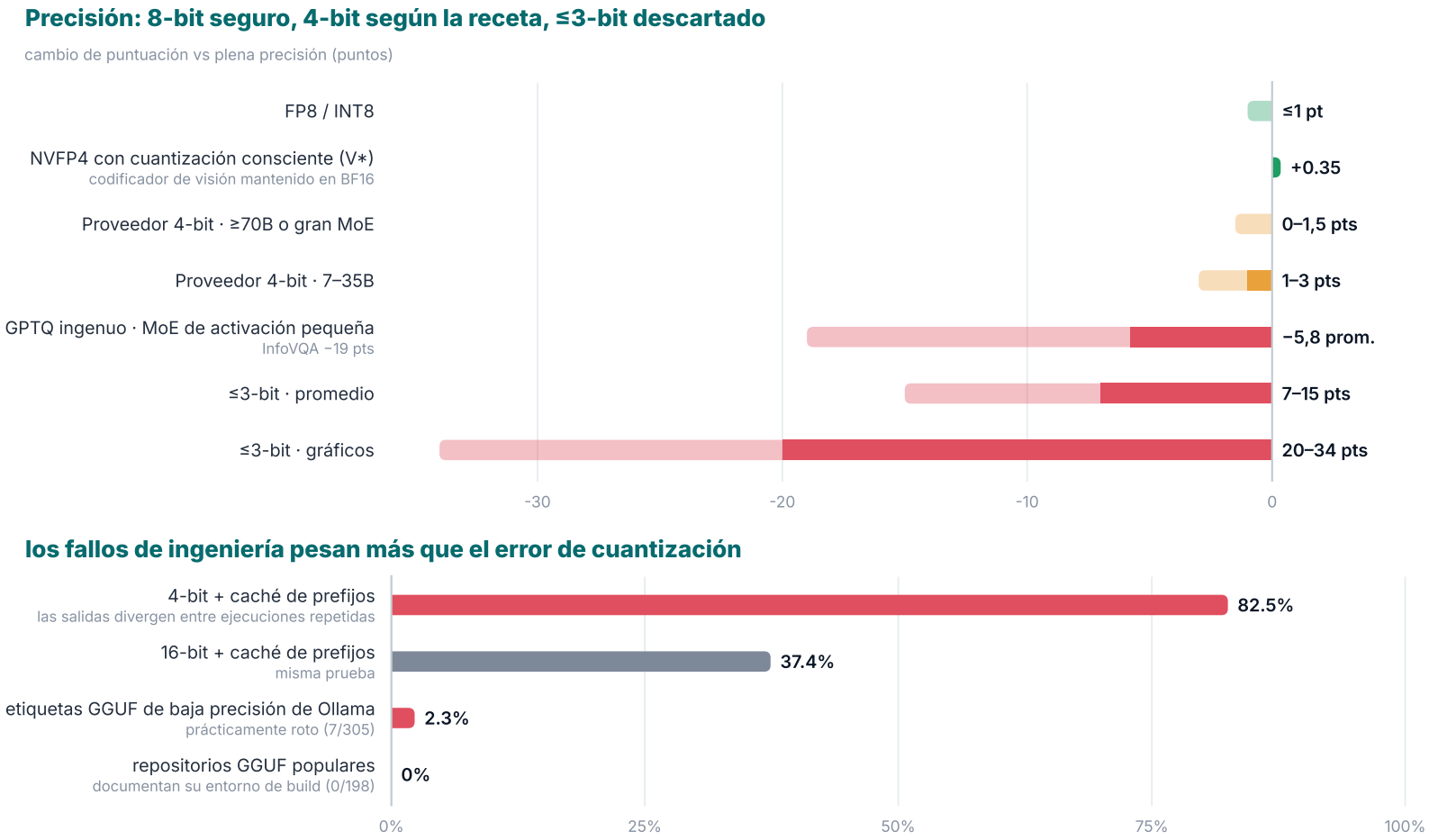
Las reglas de exportación eligen la lista corta de hardware antes que los benchmarks



- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; modelos de visión 2–8B sobre recortes de AOI, VLA de clase 3B en tiempo real; RMB 59,104 en China
- **Mac Studio 512 GB:** DeepSeek 671B a 4 bits para 1–3 usuarios
- **DGX Station:** 5A992.z, no disponible para el continente; un modelo 743B da a 32 usuarios ≈4 tokens/s cada uno
- **Aceleradores nacionales:** dos servidores Ascend de ocho tarjetas para Q&A multiusuario a tamaño completo

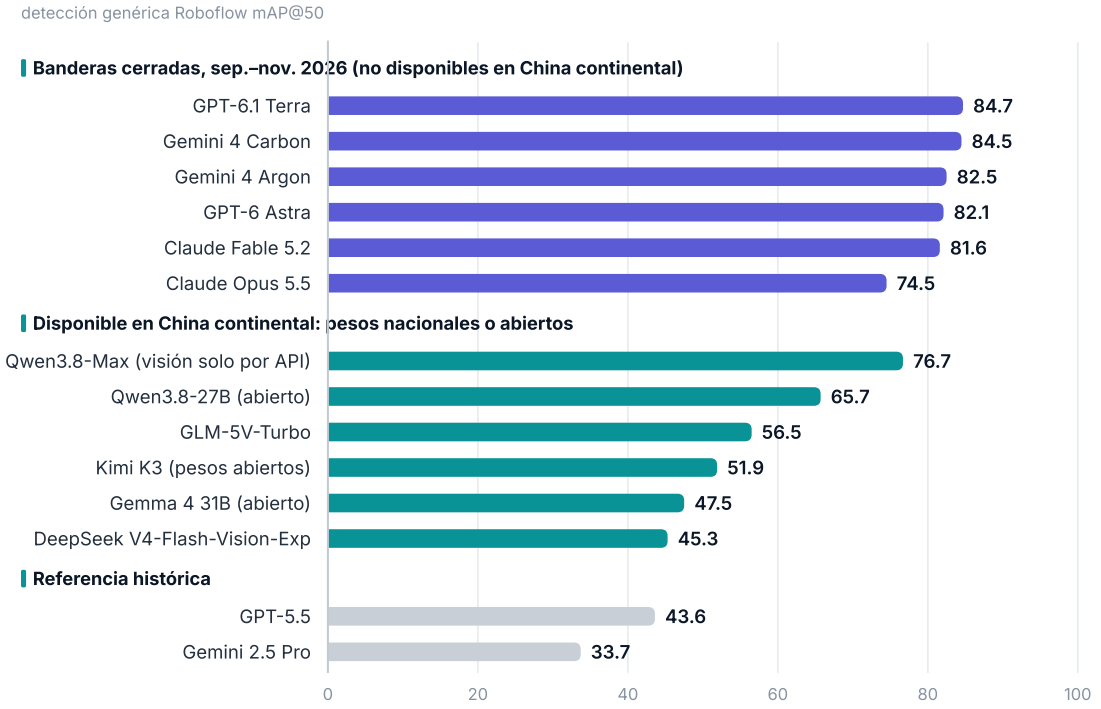
Fuente: Clasificaciones de exportación de NVIDIA, Apple, RS China, JD.com y precios de revisión (noviembre de 2026). StorageReview (ago. y oct. 2026); ServeTheHome. Pruebas independientes de una sola fuente.

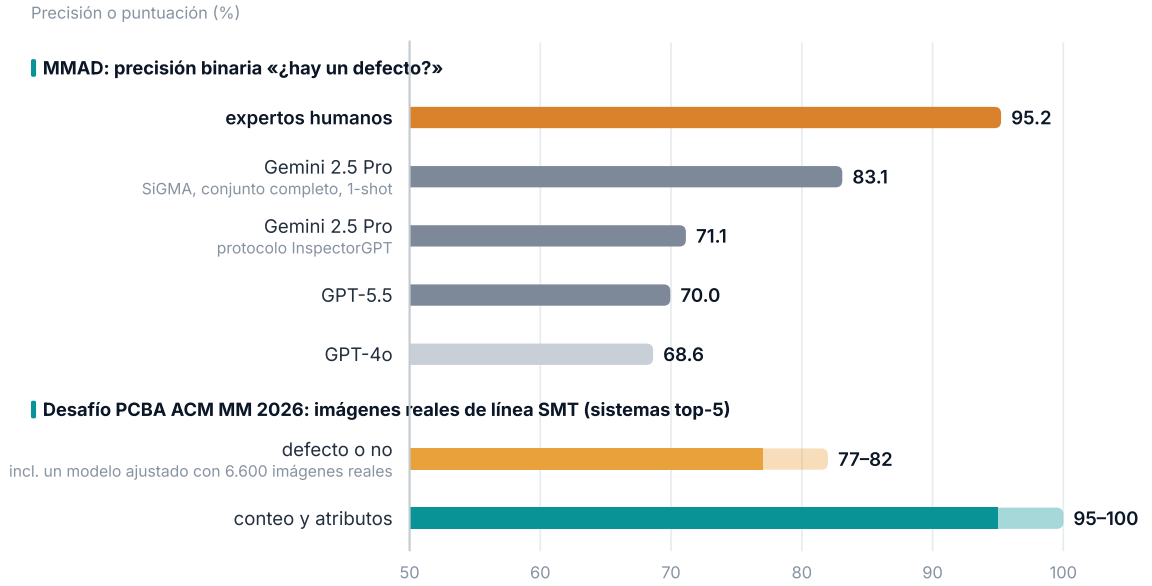
Cuantización: 8-bit es seguro, 4-bit depende de la receta, 3-bit y menos se descarta



Fuente: Ficha del modelo NVIDIA Nemotron, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 y otros.

La visión genérica se duplicó en una generación; faltan las puntuaciones de defectos industriales





Bancos de defectos industriales (MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): cero puntuaciones publicadas para estas band
las puntuaciones de detección genéricas se duplicaron en una generación, pero eso no es juicio de defecto; pruébelo en su propio conjunto de referencia

Fuente: Roboflow Vision Evals; notas de versión de modelos; páginas de MMAD, MVTec AD 2 y otros bancos (a 11 nov. 2026). MMAD; SiGMA; InspectorGPT; desafío PCBA ACM MM 2026.

Los modelos de frontera pre-etiquetan, las personas arbitran, un conjunto dorado hace de puerta

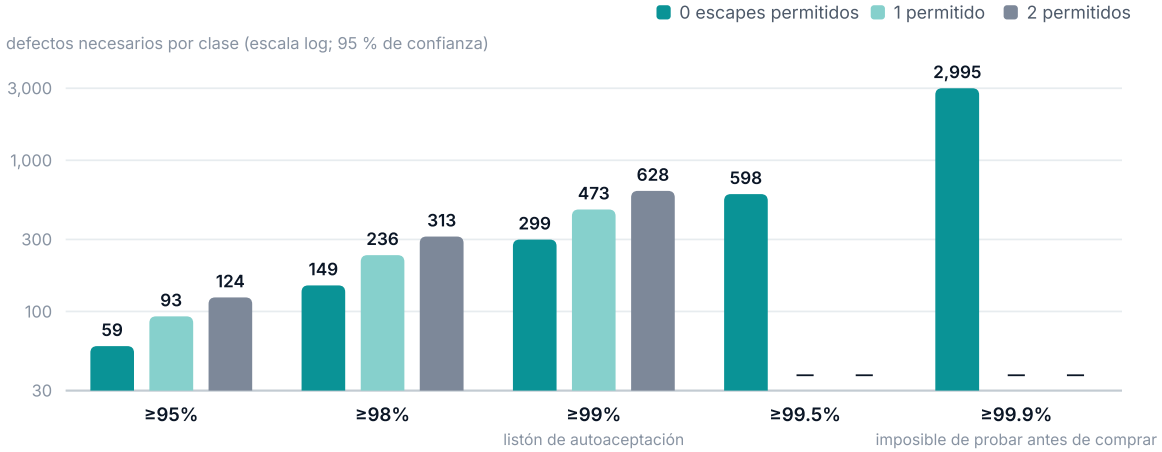
Inspección: el modelo de frontera preetiqueta, las personas adjudican, un conjunto de referencia valida



listón para aceptar automáticamente las etiquetas del maestro

Por clase: ≥299 defectos, cero escapes (recall ≥99 % al 95 % de confianza), acuerdo no peor que humano–humano; si no, solo preetiquetado

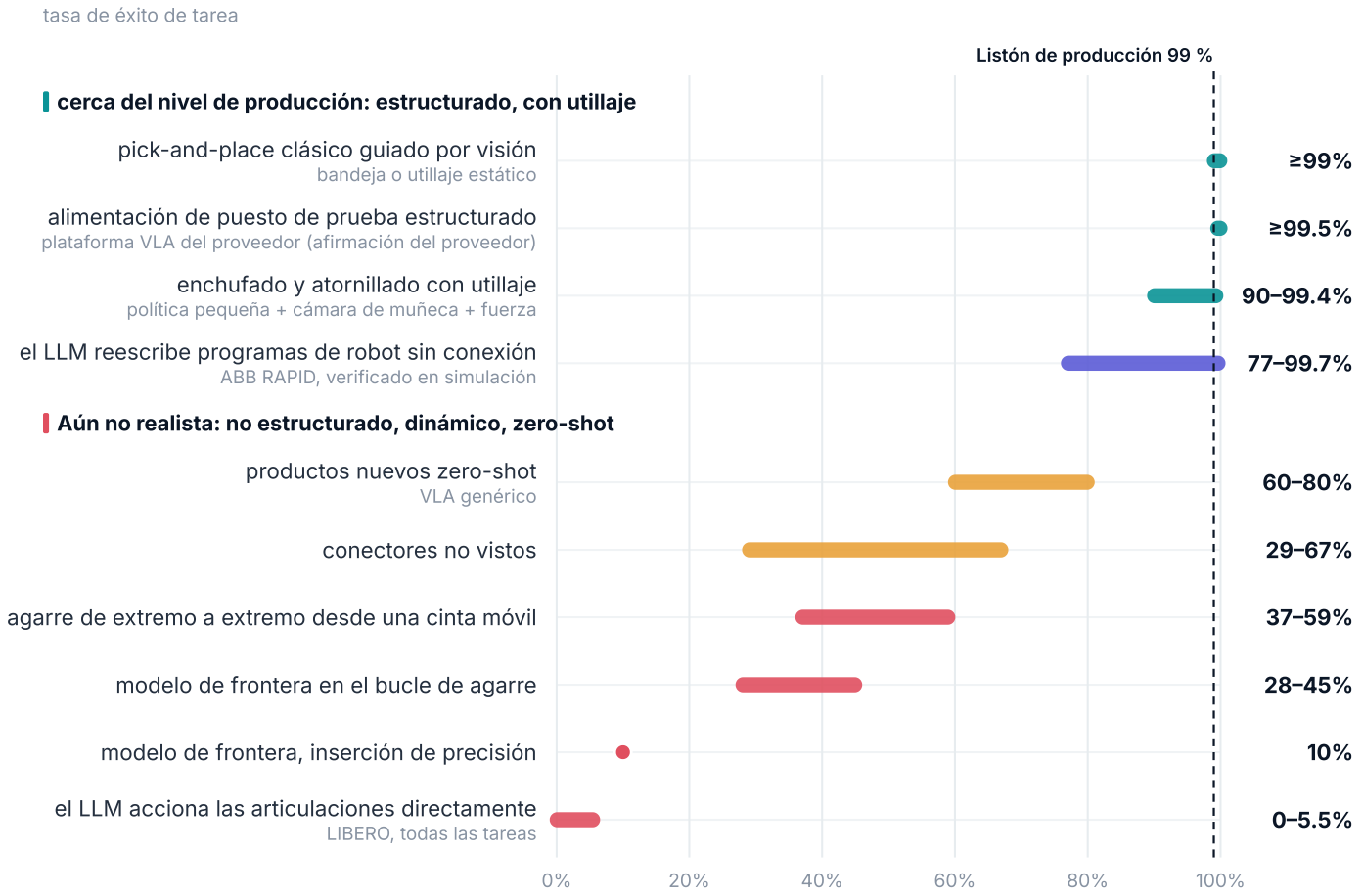
Brazos: los maestros siguen siendo demos humanas, RL en robot real y simulación

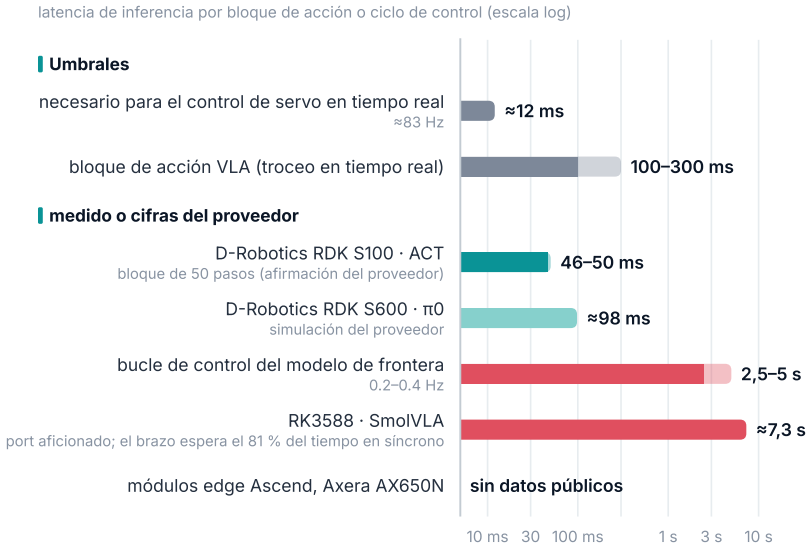


Punto clave Aceptar automáticamente las etiquetas del profesor solo para una clase con cero fallos sobre ≥299 defectos dorados (99% de sensibilidad con 95% de confianza); las clases críticas como cortocircuitos, piezas faltantes y polaridad necesitan más.

Fuente: Síntesis del autor (capítulo 3); costes y tamaños de muestra son estimaciones. Intervalos de confianza binomiales exactos (95 %).

Alumnos robot: cerca del nivel de producción solo cuando el puesto está estructurado

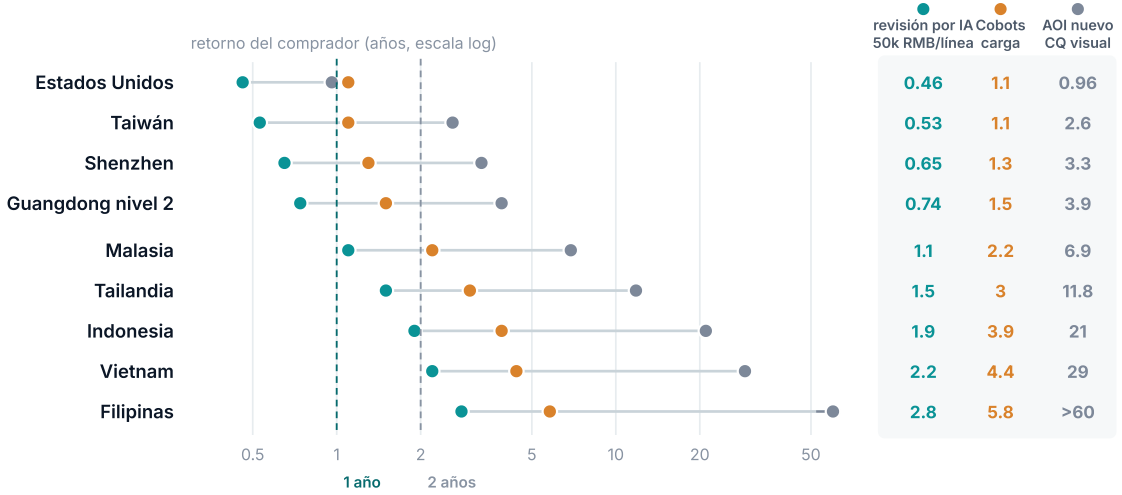




Fuente: Artículos y material de proveedores citados en el capítulo 3; algunas cifras son afirmaciones del proveedor. Documentación y foro de D-Robotics (cifras del proveedor); ports comunitarios de GitHub; investigación de Anthropic.

La revisión con IA se amortiza en meses; la alimentación de máquinas, en aproximadamente un año



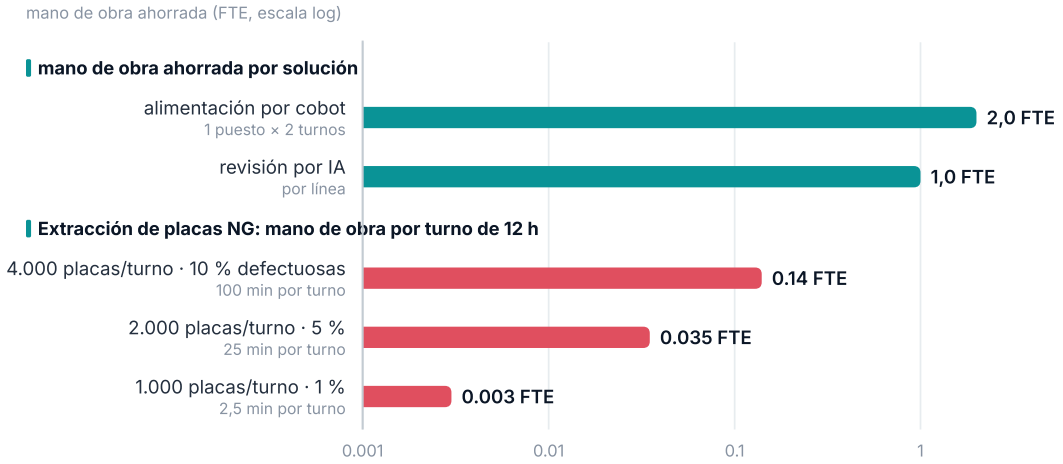


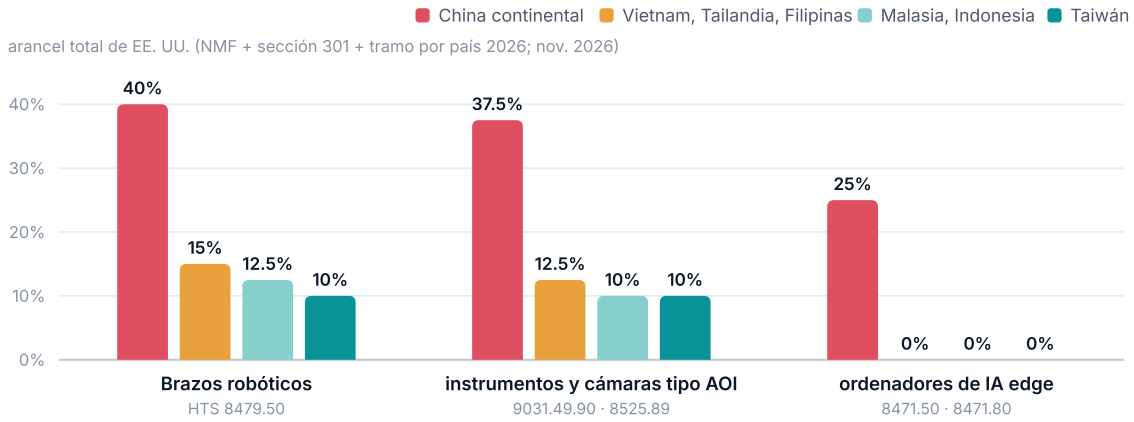
Un brazo robótico solo para extraer placas NG nunca se amortiza, en ninguna parte
Con un rendimiento de primer paso superior al 90 %, la extracción ocupa solo 0,003–0,14 FTE por turno

Punto clave A RMB 50,000 por línea, la revisión con IA se amortiza en 0.46 años en EE. UU., 0.53 en Taiwán, 0.65 en Shenzhen y 2.2 en Vietnam; una célula de alimentación con cobot a dos turnos, en 1.1–1.5 años [estimates].

Fuente: Guía salarial oficial de Shenzhen, Ministerio de Trabajo de Taiwán, JETRO, BLS; estimaciones del autor. Modelo del autor: caja de revisión IA de 50k RMB por línea; celda de alimentación por cobot a 200k RMB o 140k $, dos turnos.

Un brazo de retirada nunca se amortiza; el lugar de fabricación de un brazo cambia su arancel estadounidense





Punto clave Con un rendimiento de primera pasada superior al 90%, retirar placas NG ocupa 0.003–0.14 de una persona por turno, de modo que un desviador o búfer de NG hace el trabajo; además, un brazo fabricado en el continente paga cerca de un 40% de arancel estadounidense combinado.

Fuente: Estimaciones del autor. Capítulo 99 del Arancel Armonizado USITC; Federal Register; USTR (noviembre de 2026).

Real pero pequeño: 16,000 líneas aprovechables, ≈RMB 320M de pago único, una ventana de cinco años

líneas SMT en China (2026)

40.000 líneas

35k–46k

× 80% × 50%

aún sin IA: 75–85 %
alcanzables: 40–60 %

Líneas servibles

16.000 líneas

10,5k–23,5k

× 20k RMB

10–30k RMB puntual

Mercado puntual

320 M RMB

105–705 M RMB

÷ ≈5 años

se reduce 8–12 %/año

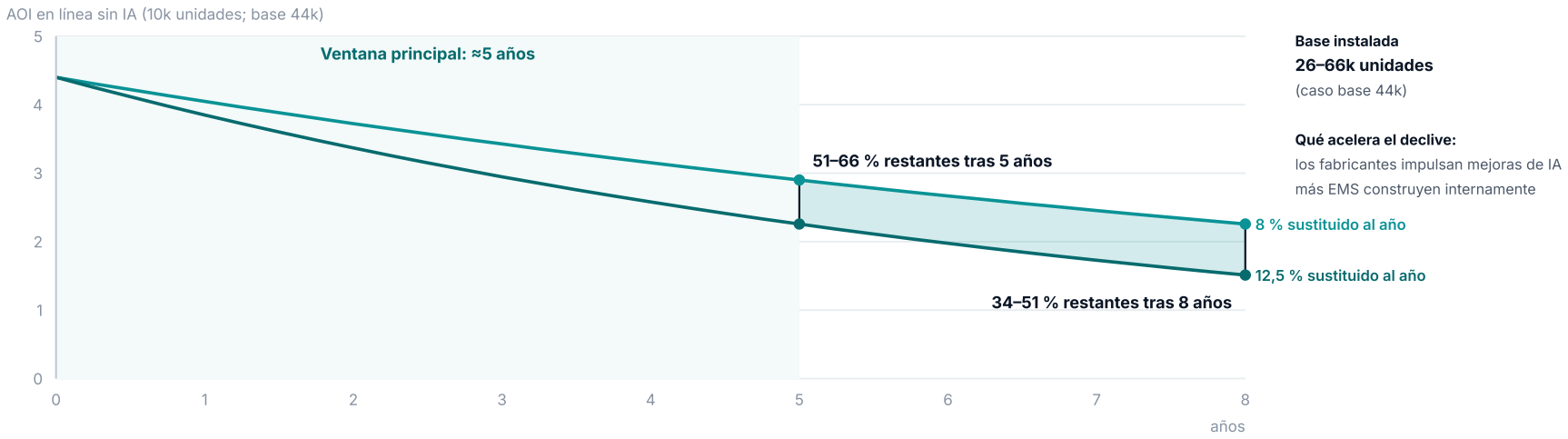
ventana de 5 años

RMB 64M/yr

21–141 M RMB

Un nuevo entrante ganando 2–5 % de las líneas servibles en 3 años: ≈320–800 líneas, ≈2–5 M RMB al año

Como suscripción (5k RMB por línea y año): 1,6–4 M RMB recurrentes, solo el 0,3–2,3 % del pronóstico de IDC del CQ industrial con IA en China



Fuente: NVR (base 2020); estimaciones del autor. Estimaciones del autor; base instalada y cuotas no verificadas de forma independiente.

La cuña de revisión está rodeada; el margen está en el hardware convertido en producto

los grandes EMS construyen internamente

DBG (2025): cubre ≥95 % de los componentes marcados
escapes <20 PPM, revisión humana −85 %
este es el listón para vender a EMS de primer nivel

IA integrada en el AOI por los fabricantes

Jutze AI 3D AOI en producción, «elimina la revisión humana en la inspección»
ViTrox V510Ai; Sinic-Tek codesarrolla con Tencent
las máquinas nuevas traen IA; las antiguas necesitan mejoras

revisión IA de terceros

caja + software acoplado al AOI existente

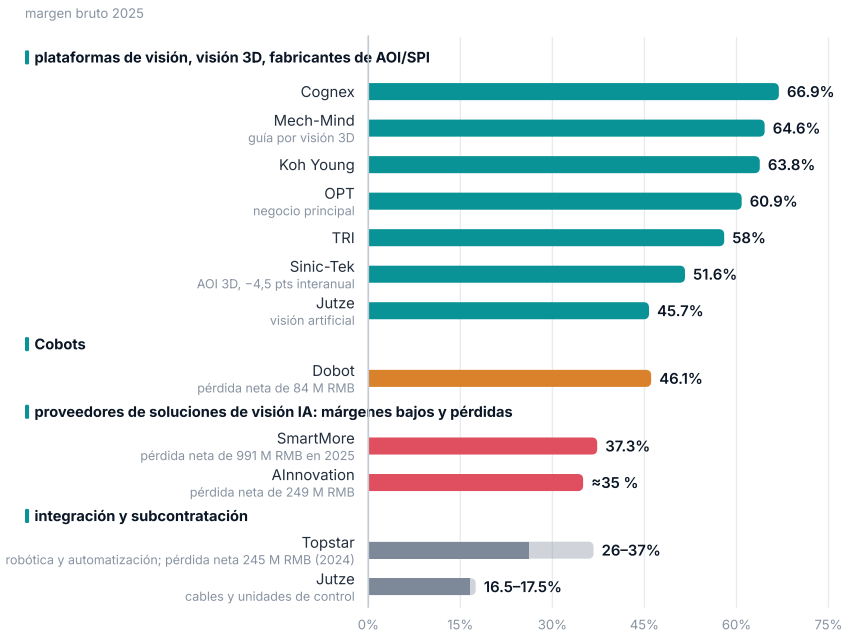
proveedores de plataforma

Hikvision Guanlan y SmartMore IndustryGPT se venden
proveedor IA líder: ingresos 2025 de 1.086 M RMB
pérdida neta de 991 M RMB: guerra de precios

Lo que queda para terceros

EMS medianos (≈10–40 líneas) con AOI antiguo o multimarca sin mejora de IA del fabricante

Nichos mal cubiertos por el AOI: THT y soldadura manual, barniz de protección, cables/conectores/FPC, aspecto final y tornillos

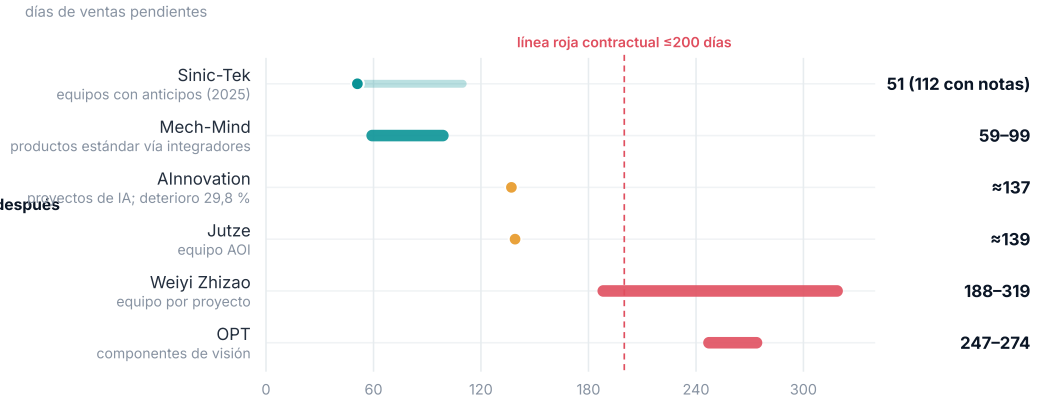


Evidencia El proveedor líder de visión con IA tuvo ingresos en 2025 de RMB 1.086 mil millones y una pérdida neta de RMB 991 millones; los ingresos 3C del comparable cotizado más cercano cayeron un 79.9% interanual entre enero y mayo de 2026.

Fuente: Informes anuales de Jutze, Sinic-Tek y DBG; material público de Hikvision y SmartMore; compilado por el autor. Informes anuales o folletos de 2025.

Los compradores pagan 30/60/10; el pago completo tarda de dos a tres años





Punto clave El 30% llega con el pedido, el 60% entre cuatro y nueve meses después y el último 10% entre 16 y 21 meses después; desde el primer piloto en una EMS grande hasta el pago completo pueden pasar de dos a tres años [estimate].

Fuente: Respuesta de consulta de Sinic-Tek, Mech-Mind, GKG, JT y otros documentos; esquema en condiciones habituales, calendario estimado. Documentos de empresa; cuentas por cobrar (incl. activos contractuales) ÷ ingresos × 365.

Planificar sin conexión, actuar con políticas pequeñas y mantener el movimiento y la seguridad deterministas

Capa	Qué hace y hasta dónde llega la evidencia	Escala de tiempo · quién la controla
Planificación L4	**modelos de frontera (sin conexión)** escribir o modificar programas de robot sin conexión, cambios de serie, explicar averías reescribe programas ABB RAPID al 77–99,7 %, desplegado tras simulación bucle de control a solo 0,2–0,4 Hz: queda fuera del tiempo real	**segundos a minutos** gigantes de modelos
Habilidades / políti L3	**ACT, políticas de difusión, VLA pequeños** puestos estructurados con utillaje 90–99,4 % chips edge: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	**bloques de acción 100–300 ms** fabricantes de chips · fabricantes de robots
control de movimie L2	**Controlador de robot** trayectorias, servo, control de fuerza, detección de colisiones código determinista; las políticas aprendidas solo fijan objetivos	**milisegundos (el tiempo real exige >83 Hz)** fabricantes de robots
Seguridad L1	**PLC de seguridad, escáneres, límites de fuerza y velocidad** certificado según ISO 10218-1/-2:2025 y normas locales Sin ML en funciones de seguridad: evaluación por organismo notificado de la UE desde el 20 en 2027	**tiempo real estricto** robot certificado + integrador

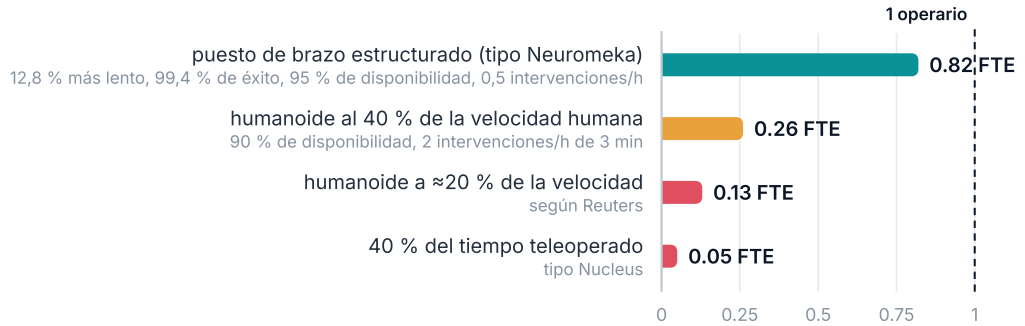
Las pequeñas empresas ganan en integración y hardware de detección: meter percepción aprendida y políticas pequeñas en celdas robóticas certificadas, un puesto a la vez

	tasa de éxito	Takt	Intervenciones / teleoperación	Disponibilidad / averías	Volumen
Figure 02 @ BMW	solo objetivo >99 %/turn	solo objetivo 84 s	solo objetivo 0/turno	n/d	1.250 h
Agility Digit @ GXO	n/d	n/d	n/d	n/d	00.000 contenedores
Apptronik Apollo @ Mercedes	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Agile ONE @ Audi	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Nucleus (planta sin nombre)	n/d	n/d	≈40 % teleoperado*	n/d	≈2 h de vídeo
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	18–20 s por paso	n/d	una avería, 2 min	64+ h
celda híbrida Neuromeka	322/324	12,8 % más lento	n/d	n/d	324 ciclos
π0.6 @ sitio del cliente	—	—	96,4 % autónomo	n/d	1 turno

* método no divulgado

Divulgado (sobre todo afirmaciones del proveedo solo objetivos n/d

mano de obra neta sustituida por robot y turno



Fuente: síntesis del autor (capítulos 3 y 6) y estimaciones; ISO 10218:2025; Reglamento de Máquinas de la UE; material público de BMW, Figure, Agility, Mercedes-Benz y otros.

Construir de forma acotada, demostrarlo sobre las propias imágenes de la planta y luego escalar

Construir	Revisión con IA y clasificación de defectos sobre imágenes de AOI para EMS medianas con AOI antiguos o de marcas mixtas; inspección que el AOI cubre mal; células de cobot donde se manipula cada pieza
No construir	Una plataforma general de IA más brazo; un LLM como inspector principal; un brazo de retirada en una línea SMT; humanoides y robots como servicio; modelos de frontera en bucles de control o funciones de seguridad

Piloto

1. **Semanas 0–2:** acuerdo de datos, clases de defectos, línea base
2. **Semanas 1–4:** conjunto dorado, etiquetado a ciegas y arbitrado
3. **Semanas 2–4+:** modo en sombra, comparado por clase
4. **Semanas 4–8:** funcionamiento asistido solo en clases aprobadas
5. **Después:** aceptación por escrito, escala línea a línea y revalidación ante cada cambio

Seguridad Nada de aprendizaje automático dentro de las funciones de seguridad: la UE exige evaluación por organismo notificado a partir del 20 de enero de 2027, y las vías de certificación de IA no se estabilizarán antes de 2027–2029.

Fuente: capítulos 6–7 del informe y resumen ejecutivo; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC y bases de datos regulatorias nacionales.

SOBRE EL AUTOR

Tan Shuai

Tecnólogo y fundador, con más de veinte años entre chips, hardware y software de sistema, y 20 patentes concedidas. Su trabajo lo ha llevado por Silicon Valley, Nueva York, Chicago, Taiwán, la Gran Área de la Bahía (Shenzhen y Hong Kong), Vietnam y Malasia, con un largo foco en la fabricación avanzada y las cadenas de suministro. Hoy trabaja como investigador y desarrollador de IA, centrado en cómo se usa la IA en la planta de producción.

El informe completo (todas las figuras, tablas y fuentes) y el artículo están en tanshuai.com. Le agrada conversar con personas que trabajan en IA en la fabricación: i@tanshuai.com

