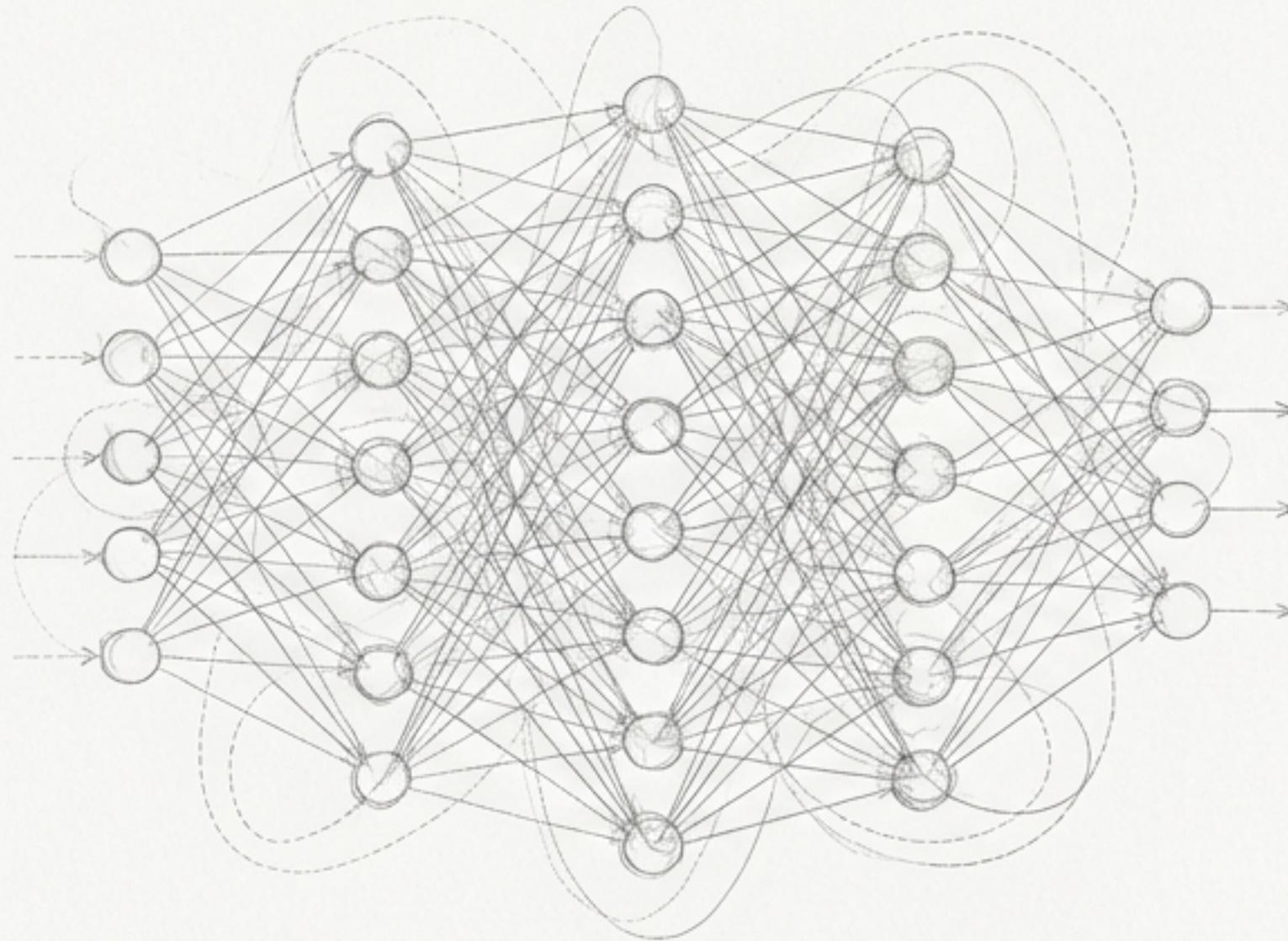
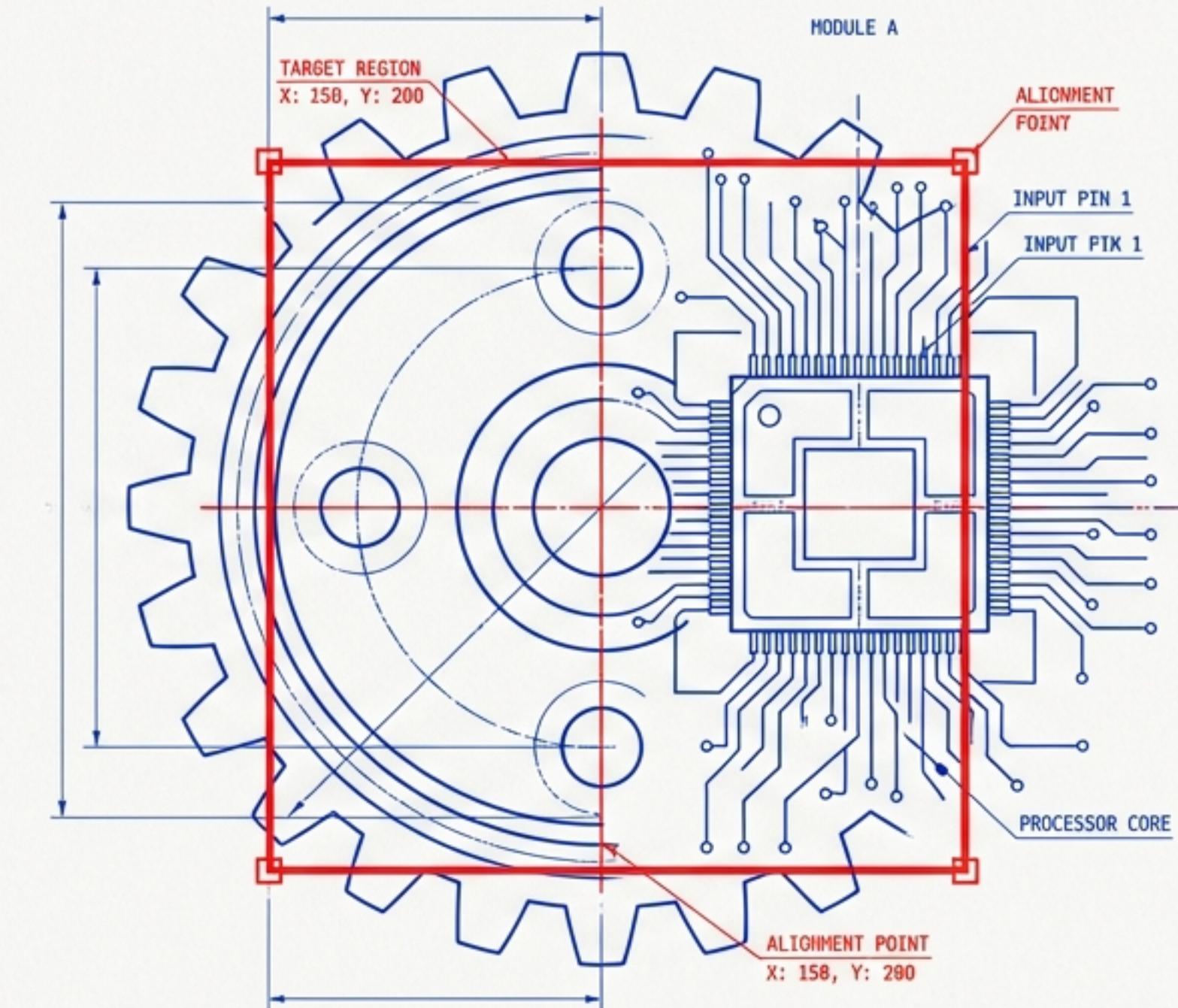


TEMPLATE MATCHING EN VISIÓN ARTIFICIAL

FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS Y APLICACIONES CRÍTICAS

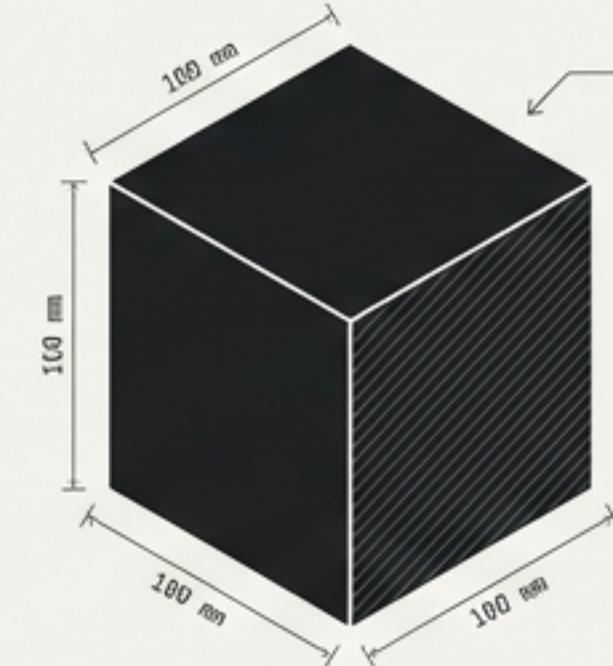


Por qué la precisión de la 'Caja Blanca' sigue siendo el estándar de oro en la era del Deep Learning.



ANÁLISIS DE PRIMEROS PRINCIPIOS
ESTRATEGIA DE INGENIERÍA

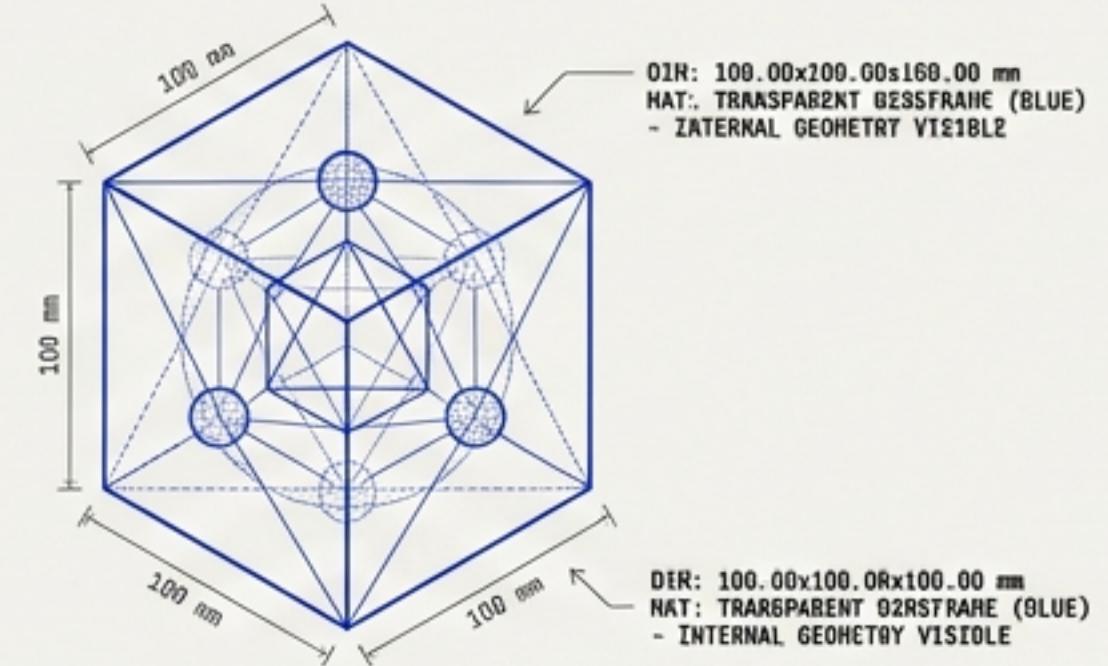
LA VIGENCIA DEL MÉTODO: DETERMINISMO FREnte A PROBABILIDAD



OIR: 100.60x100.08x100.00 mm
HAT: SOLID OPAQUE

DEEP LEARNING (CAJA NEGRA)

PROCESS FLOW:
STOCHASTIC ABSTRACTION → Abstracción estocástica. Las redes neuronales transforman la entrada en vectores de alta dimensionalidad, a menudo perdiendo la trazabilidad directa de por qué se tomó una decisión. ← OUTPUT: HIGH-DIMENSIONAL VECTORS



OIR: 100.00x200.00x160.00 mm
HAT: TRANSPARENT BORDER FRAME (BLUE)
- INTERNAL GEOMETRY VISIBLE

TEMPLATE MATCHING (CAJA BLANCA)

PROCESS FLOW:
SPATIAL DOMAIN → Trazabilidad total. Opera en el dominio espacial preservando la topología estructural. Cada paso del algoritmo es matemáticamente verificable. ← OUTPUT: TOPOLOGICAL PRESERVATION

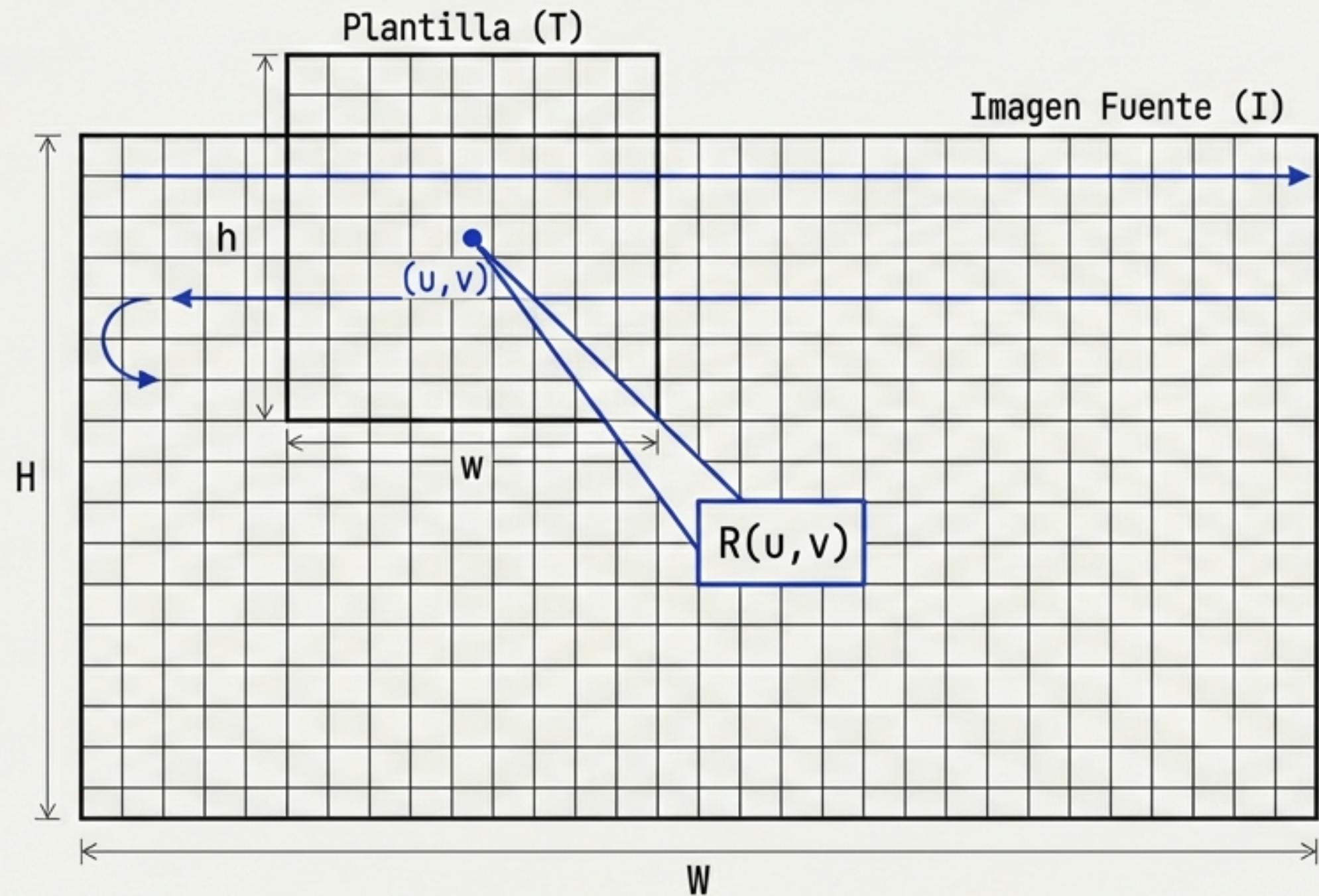
LA NECESIDAD DE CERTIDUMBRE:



REGULATORY REQUIREMENT:
VERIFIED

En sectores regulados como semiconductores y diagnóstico clínico, la explicabilidad no es un lujo, es un requisito legal. En sectores regulados como semiconductores y diagnóstico clínico, la explicabilidad no es un lujo, es un requisito legal y técnico. Buscamos patrones basados en la intensidad real de los píxeles, no solo en abstracciones estadísticas. ← PIXEL INTENSITY ANALYSIS

MECÁNICA FUNDAMENTAL: EL PARADIGMA DE LA VENTANA DESLIZANTE



PROCESS FLOW:
SPATIAL DOMAIN ANALYSIS

DEFINICIÓN:

Convolución espacial discreta sobre un dominio $\Omega \subset \mathbb{Z}^2$.

COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL:

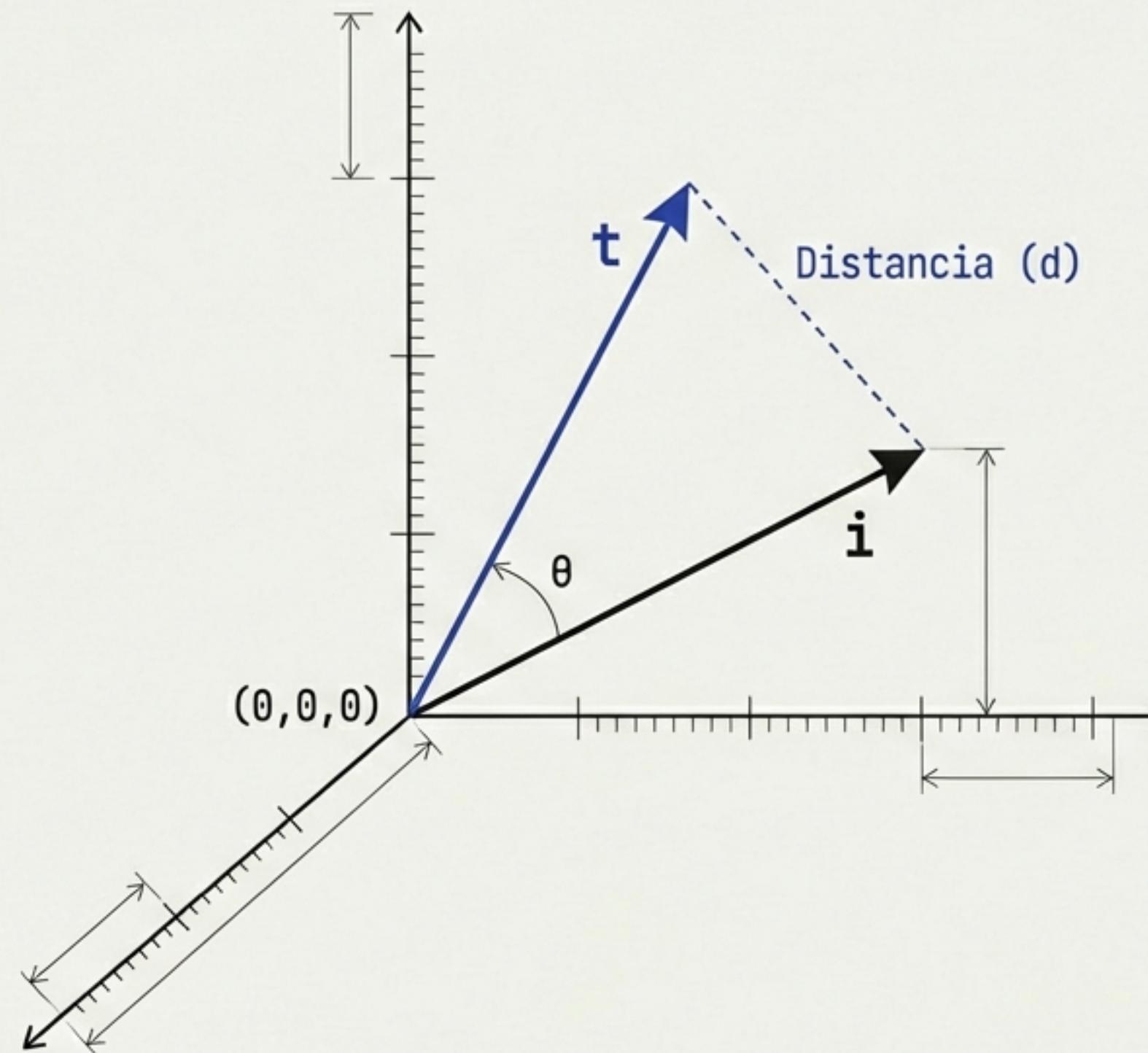
$$O(N \cdot M)$$

Donde N son los píxeles de la imagen y M los píxeles de la plantilla.

INSIGHT:

Es un método de fuerza bruta elegante. Bajo condiciones ideales, garantiza encontrar el óptimo global matemático, eliminando el riesgo de caer en mínimos locales.

INTERPRETACIÓN VECTORIAL: GEOMETRÍA EN EL ESPACIO DE CARACTERÍSTICAS



SIMILITUD POR DISTANCIA (SAD/SSD)

Mide la magnitud del vector diferencia $d = t - i$.

Pregunta: ¿Qué tan cerca están los puntos en el espacio?

SIMILITUD POR PROYECCIÓN (CORRELACIÓN)

Mide el ángulo θ entre vectores.

Pregunta: ¿Apuntan en la misma dirección?

LA CLAVE DE LA ILUMINACIÓN

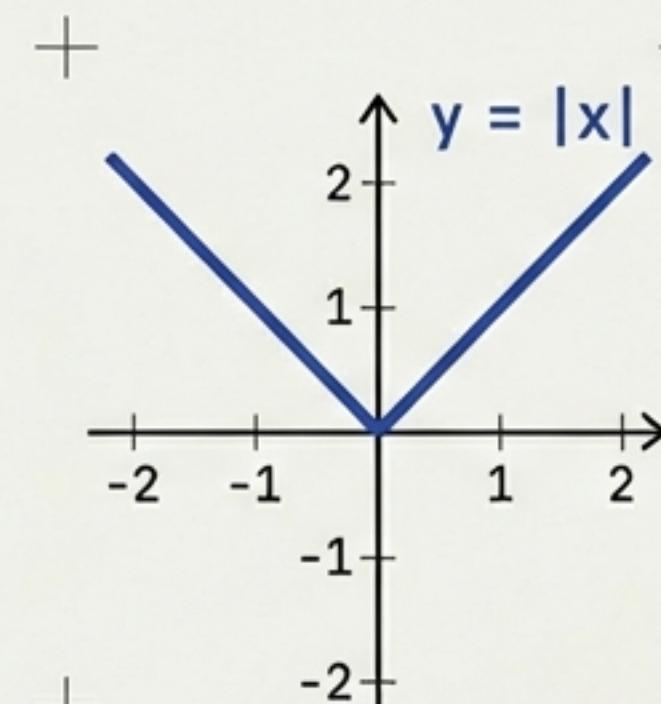
Los cambios de luz alteran la longitud (magnitud) del vector, pero no necesariamente su dirección (ángulo). Por esto, las métricas basadas en ángulo son más robustas.

MÉTRICAS DE DIFERENCIA: BUSCANDO EL CERO

SAD (SUMA DE DIFERENCIAS ABSOLUTAS)

$$\sum |T - I|$$

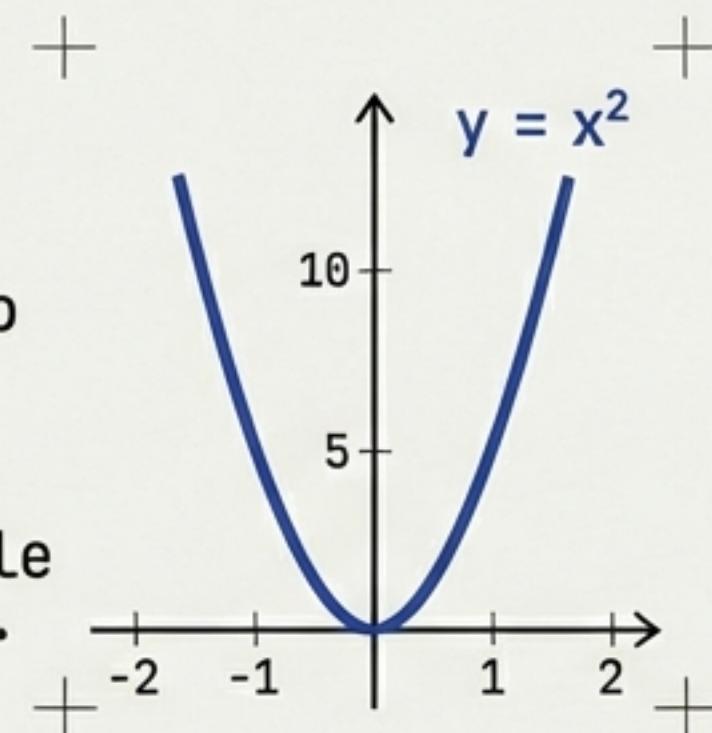
- Norma: L1
- Ventaja: Eficiencia extrema. Ideal para FPGAs y hardware sin unidad de punto flotante.
- Robustez: Resiste el ruido "sal y pimienta" (outliers individuales).



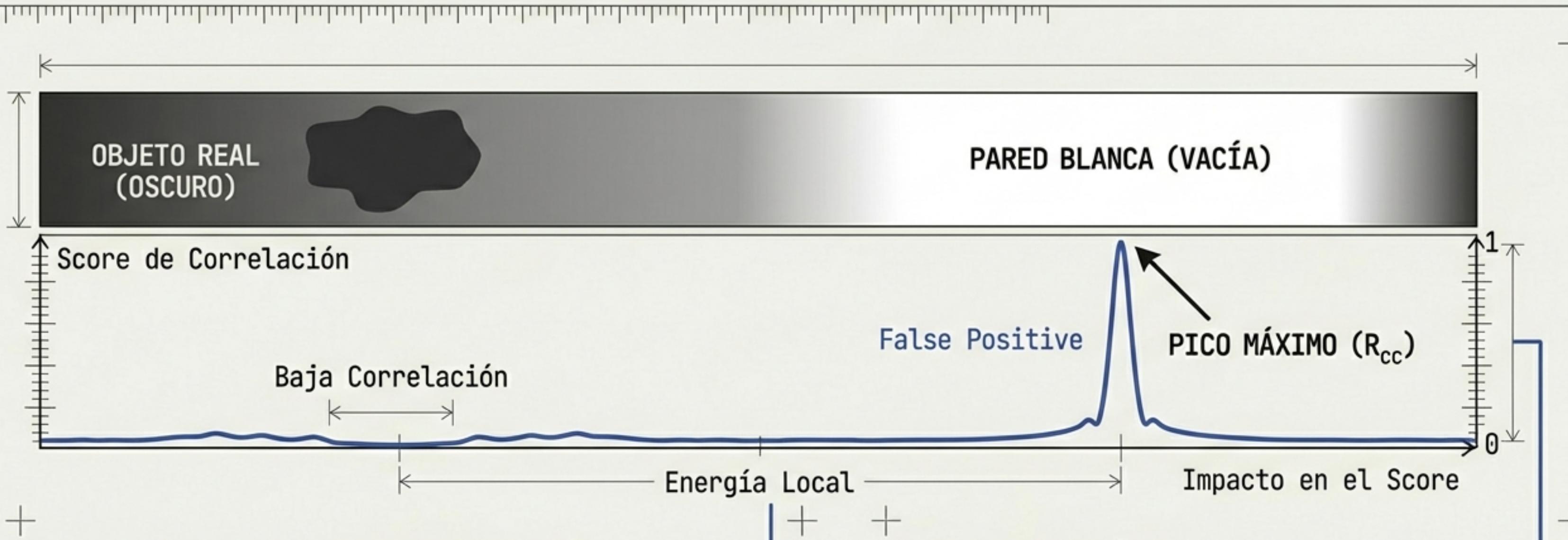
SSD (SUMA DE DIFERENCIAS CUADRÁTICAS)

$$\sum (T - I)^2$$

- Norma: L2
- Base Estadística: Equivalente a la Estimación de Máxima Verosimilitud (MLE) bajo ruido Gaussiano.
- Riesgo: Penaliza exponencialmente los errores grandes. Sensible a cambios de luz global.



LA TRAMPA DE LA CORRELACIÓN SIMPLE



El término R_{cc} es proporcional a $\sum I^2$ (energía local). Una región blanca vacía tiene valores de pixel altos (255), generando un producto interno mayor que el objeto real si este es oscuro.

PROCESS FLOW:
CORRELATION WITHOUT NORMALIZATION

EL ESTÁNDAR DE ORO: ZNCC

CORRELACIÓN CRUZADA NORMALIZADA CON MEDIA CERO

$$R(x, y) = \frac{\sum(T - T_{mean})(I - I_{mean})}{\sqrt{\sum(T - T_{mean})^2} \cdot \sqrt{\sum(I - I_{mean})^2}}$$

The equation is annotated with two blue arrows pointing to text descriptions:

- A blue bracket encloses the terms $(T - T_{mean})$ and $(I - I_{mean})$, with an arrow pointing to the text: "RESTAR LA MEDIA: Elimina el offset de brillo (Invarianza Aditiva)."
- A blue bracket encloses the terms $\sqrt{\sum(T - T_{mean})^2}$ and $\sqrt{\sum(I - I_{mean})^2}$, with an arrow pointing to the text: "DIVIDIR POR DESVIACIÓN ESTÁNDAR: Elimina el contraste (Invarianza Multiplicativa)."

RESULTADO GEOMÉTRICO:

El valor resultante es el Coseno del ángulo entre vectores.

1.0 = Coincidencia Perfecta.

-1.0 = Inverso Perfecto.

MATRIZ DE SELECCIÓN DE MÉTRICAS

MÉTRICA	INVARIANZA BRILLO	COSTO DE CÓMPUTO CASO DE USO
SQDIFF (Diferencia Cuadrática)	No	Bajo Laboratorios controlados (luz constante).
CCOEFF (Coeficiente de Correlación)	Sí (Aditiva)	Medio Balance velocidad/robustez.
ZNCC (Normalizada)	Total (Aditiva + Multiplicativa)	Muy Alto Robótica, Medicina, Exteriores.

ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN:

Usar CCOEFF para un barrido rápido y refinar los candidatos con ZNCC.

PROCESS FLOW:
ZNCC NORMALIZED CORRELATION



ACELERACIÓN ESPECTRAL: ROMPIENDO LA BARRERA O(N·M)



TEOREMA DE LA CONVOLUCIÓN

$$\mathcal{F}\{I * T\} = \mathcal{F}\{I\} \cdot \mathcal{F}\{T\}^*$$

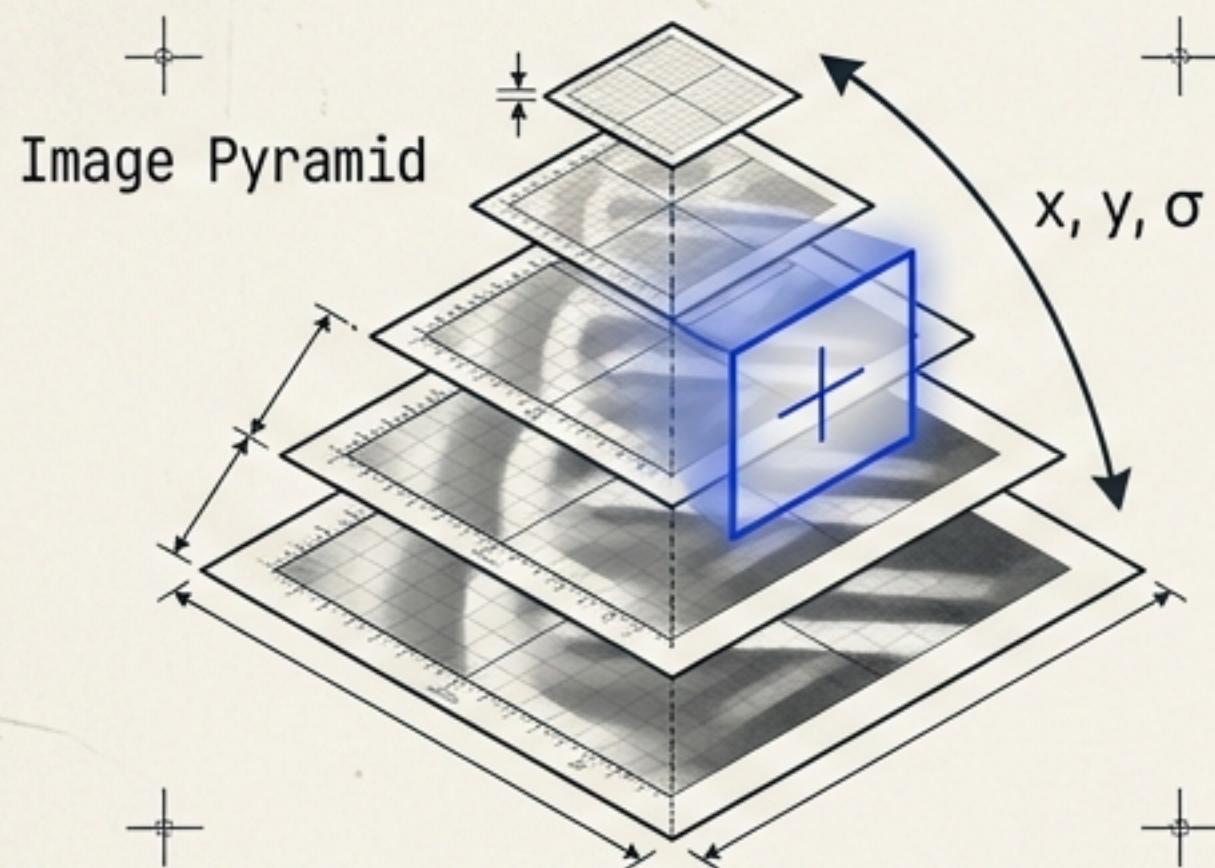
IMPACTO

- Reduce la complejidad computacional de $O(N \cdot M)$ a $O(N \log N)$.
- Transforma una operación espacial lenta en una multiplicación frecuencial rápida. Vital para imágenes de alta resolución.

PROCESS FLOW:
SPECTRAL ACCELERATION

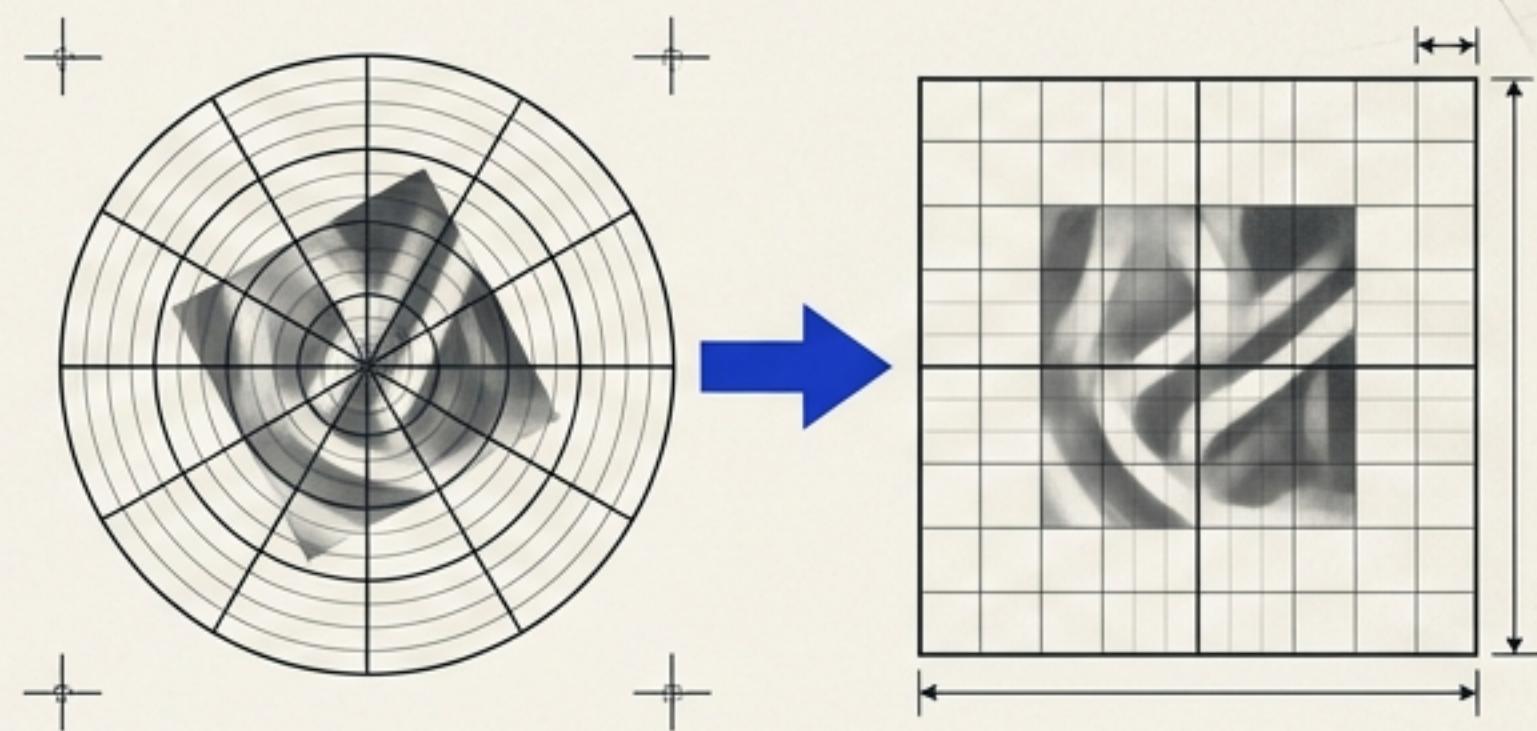
SUPERANDO LA RIGIDEZ: ESCALA Y ROTACIÓN

INVARIANZA A LA ESCALA



Pirámides de Imágenes (Multiescala).
Búsqueda en el volumen espacio-escala (x, y, σ).
Se submuestrea la imagen, no la plantilla.

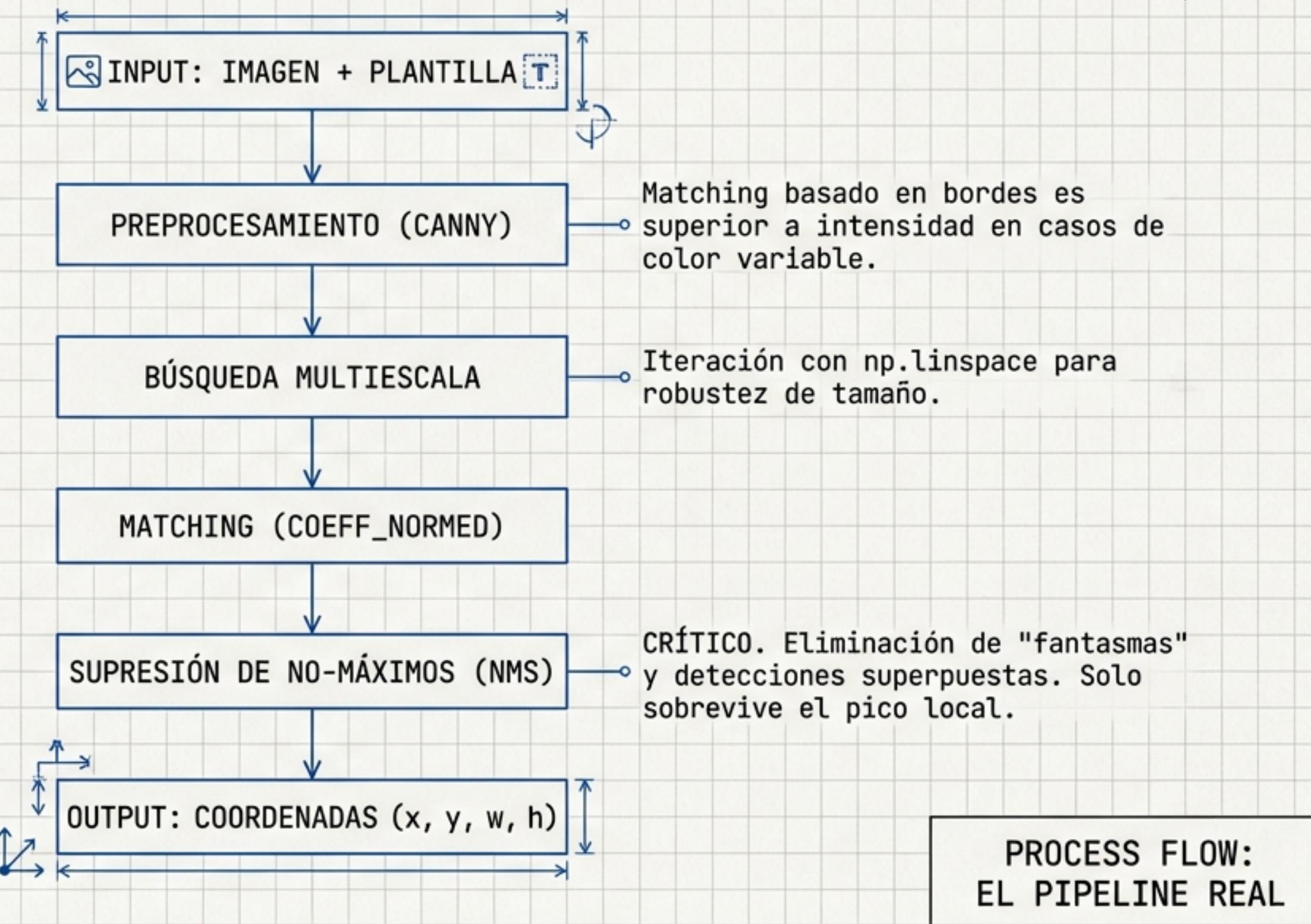
INVARIANZA A LA ROTACIÓN



Transformada Log-Polar y Fourier-Mellin.
Convierte la rotación y la escala en simples
traslaciones lineales en el dominio transformado.

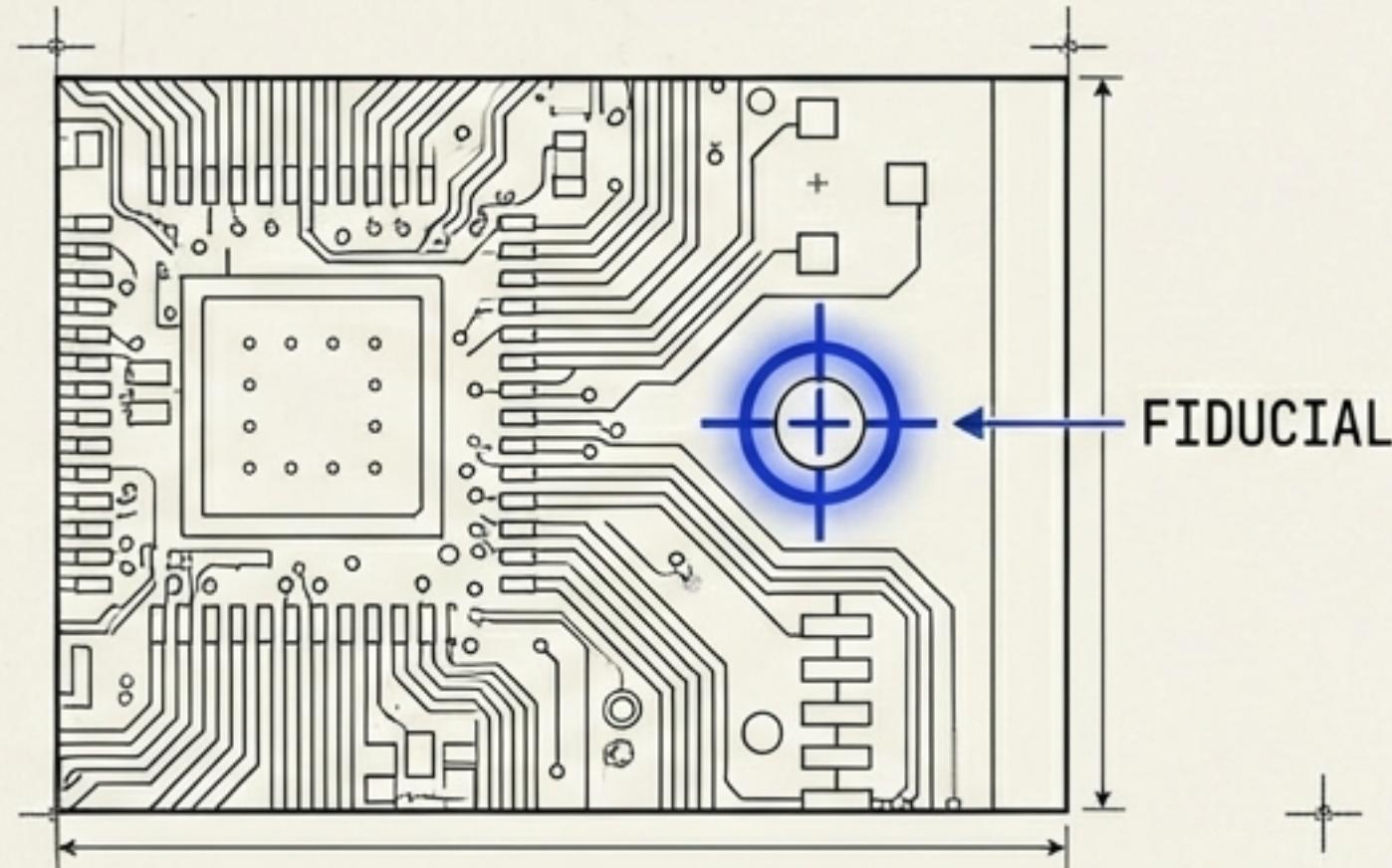
PROCESS FLOW: SCALE-SPACE & LOG-POLAR TRANSFORMS

IMPLEMENTACIÓN PROFESIONAL: EL PIPELINE REAL



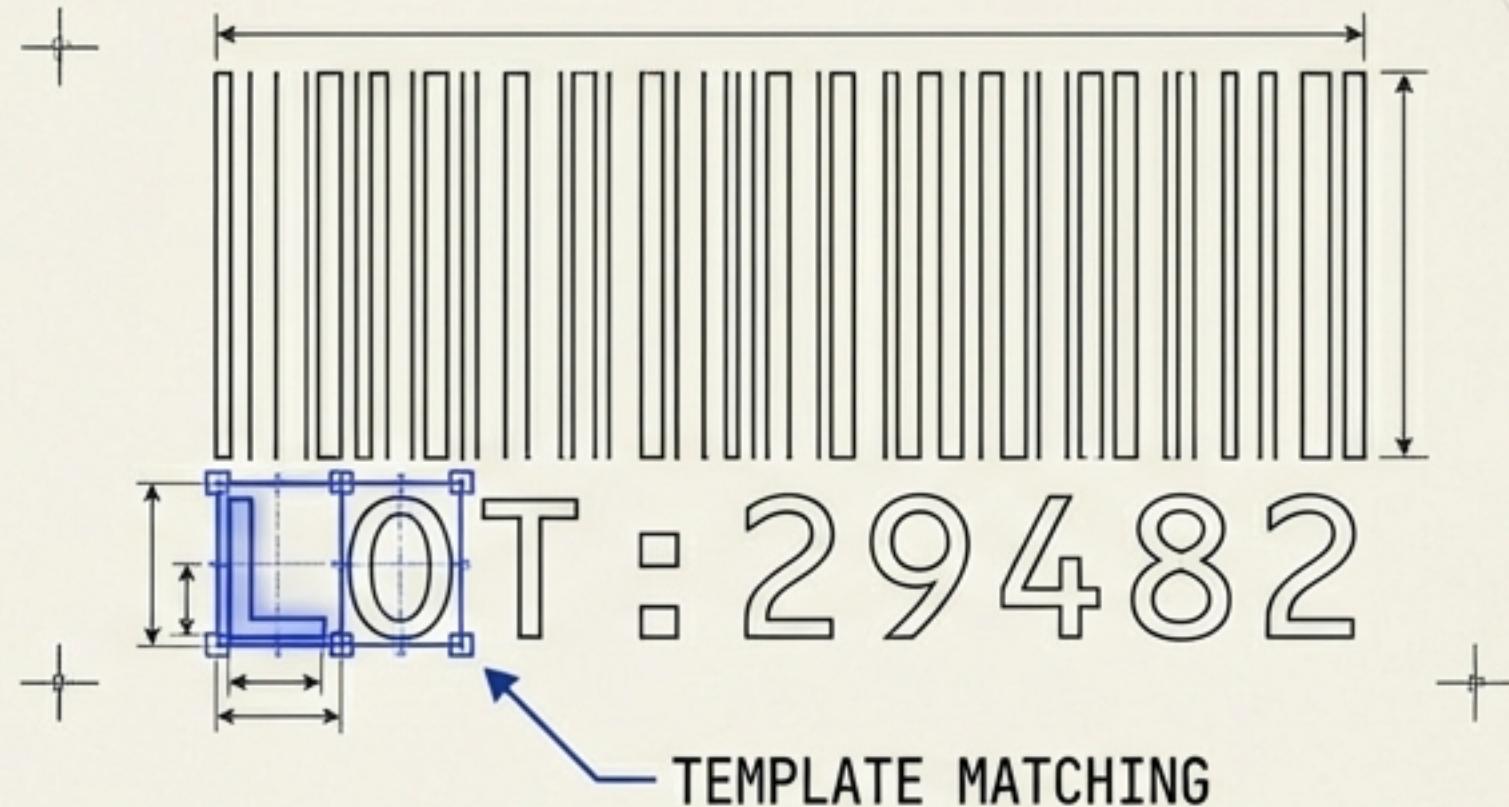
APLICACIONES INDUSTRIALES: DONDE EL ERROR NO ES OPCIÓN

MANUFACTURA ELECTRÓNICA (PCBs)



Localización de referencias para robots Pick & Place. Precisión sub-píxel (0.1mm) mediante interpolación parabólica del mapa de correlación.

INSPECCIÓN DE EMPAQUETADO (OCR)

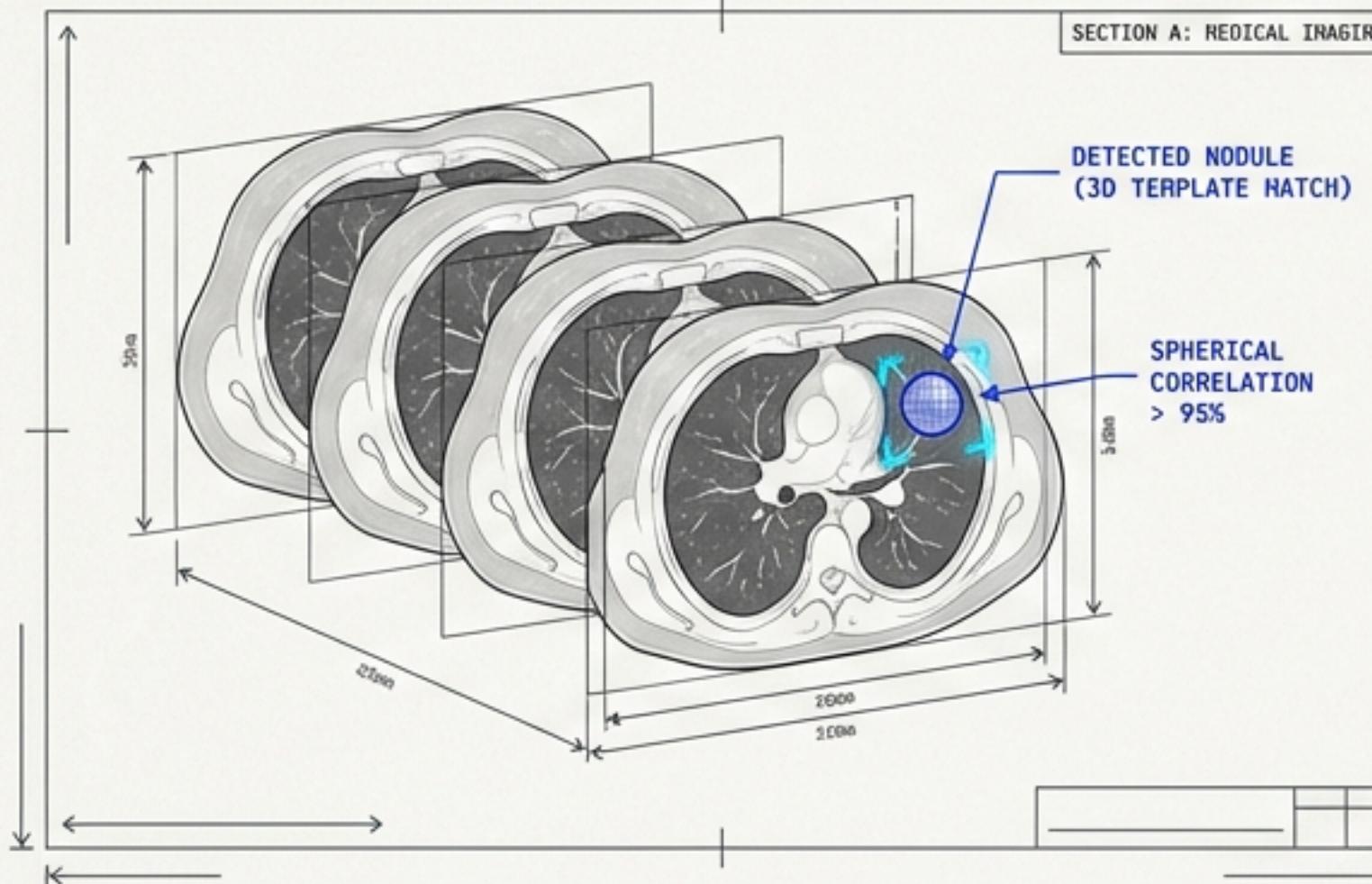


Verificación forma-a-forma de códigos de lote.
Ventaja: Verificación determinista de la geometría.
Sin "alucinaciones" típicas de la IA generativa.

PROCESS FLOW: APLICACIONES INDUSTRIALES

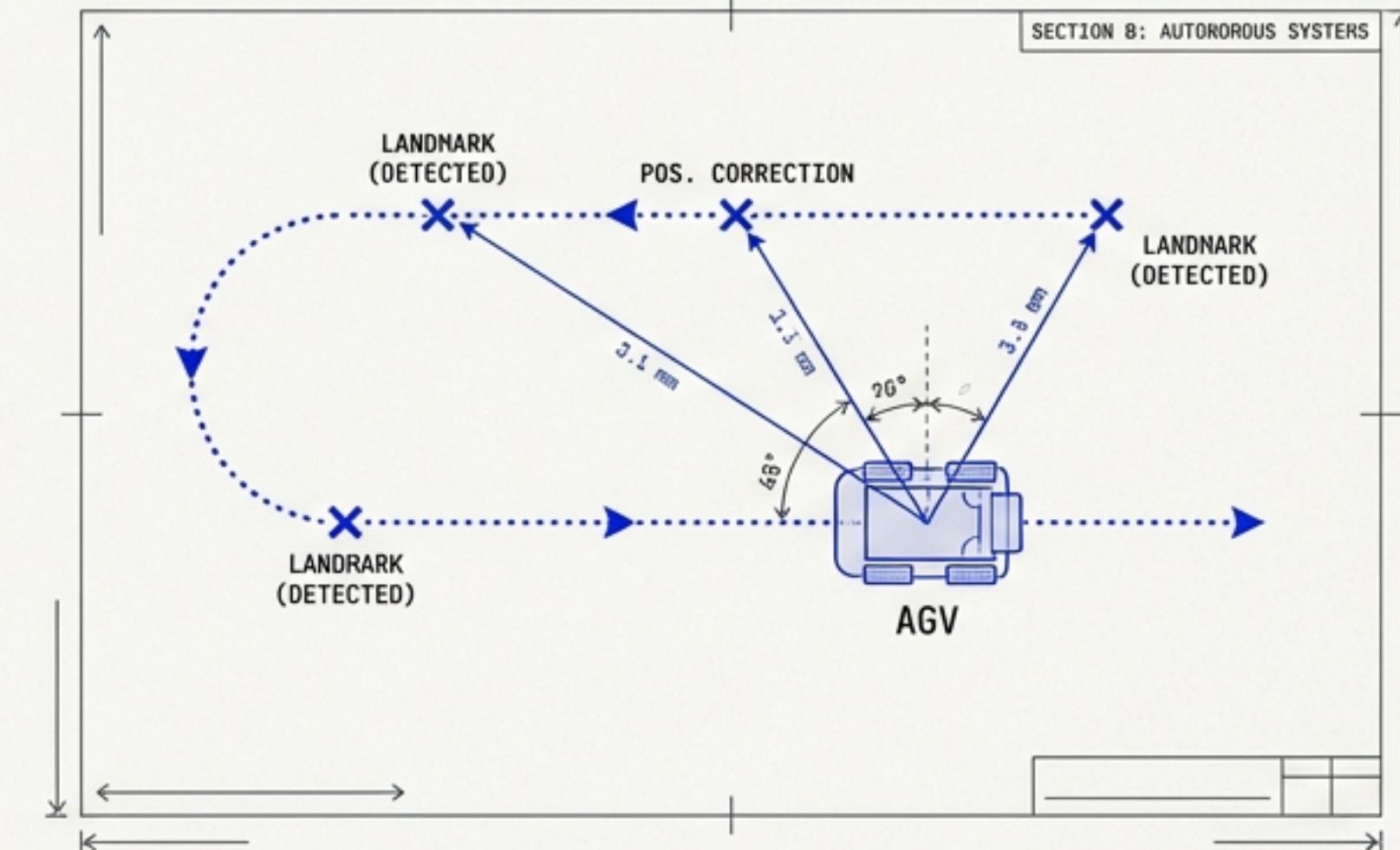
APLICACIONES CIENTÍFICAS Y MÉDICAS

DIAGNÓSTICO POR IMAGEN (CT/MRI)



Detección de nódulos pulmonares usando plantillas volumétricas (3D). Valor: Explicabilidad directa ("Correlación esférica del 95%") vs. Caja negra.

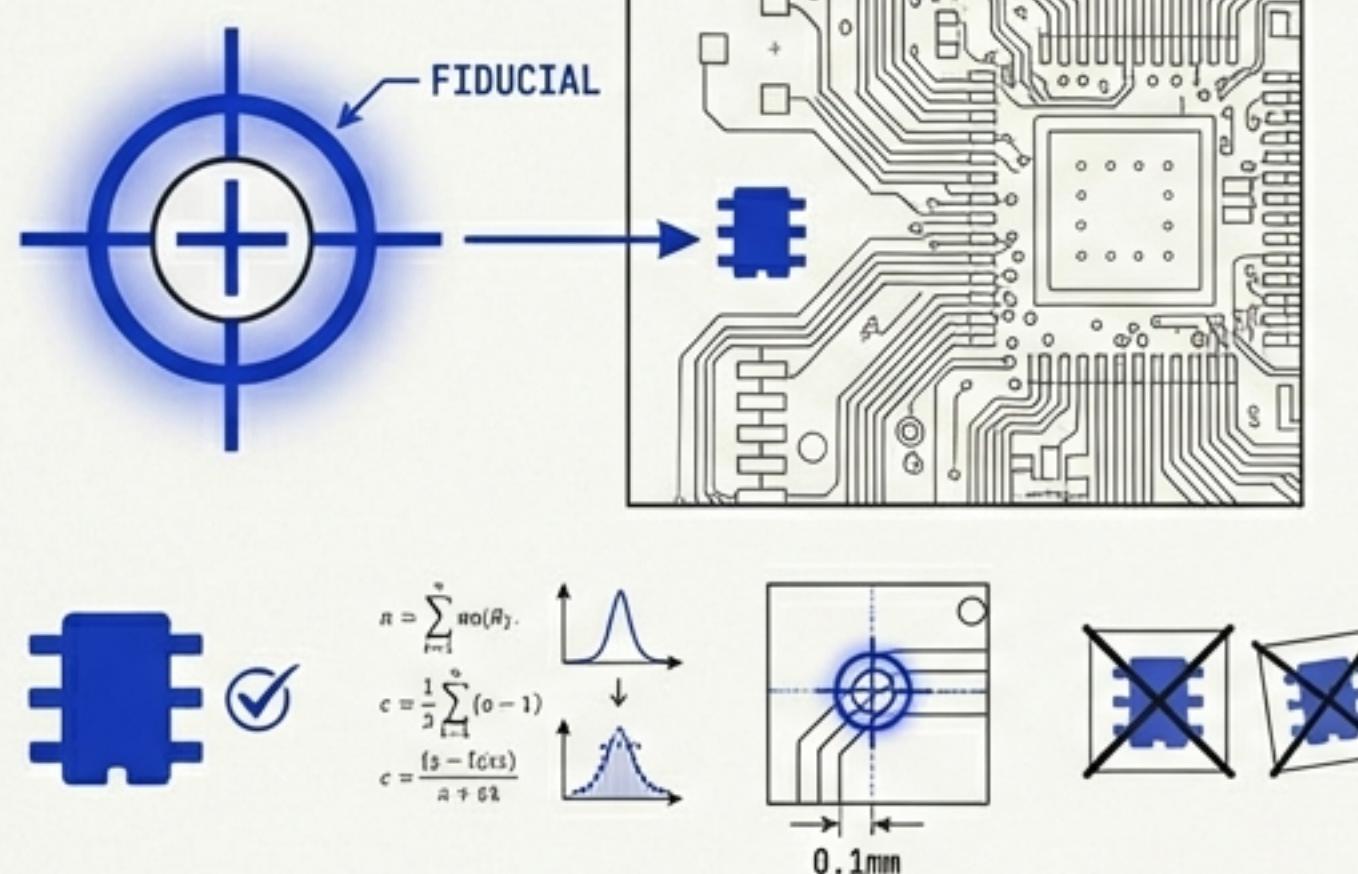
ROBÓTICA Y NAVEGACIÓN



Landmarks & Odometría: Corrección de posición en AGVs.
Lucas-Kanade: Estabilización de video como una forma diferencial de Template Matching.

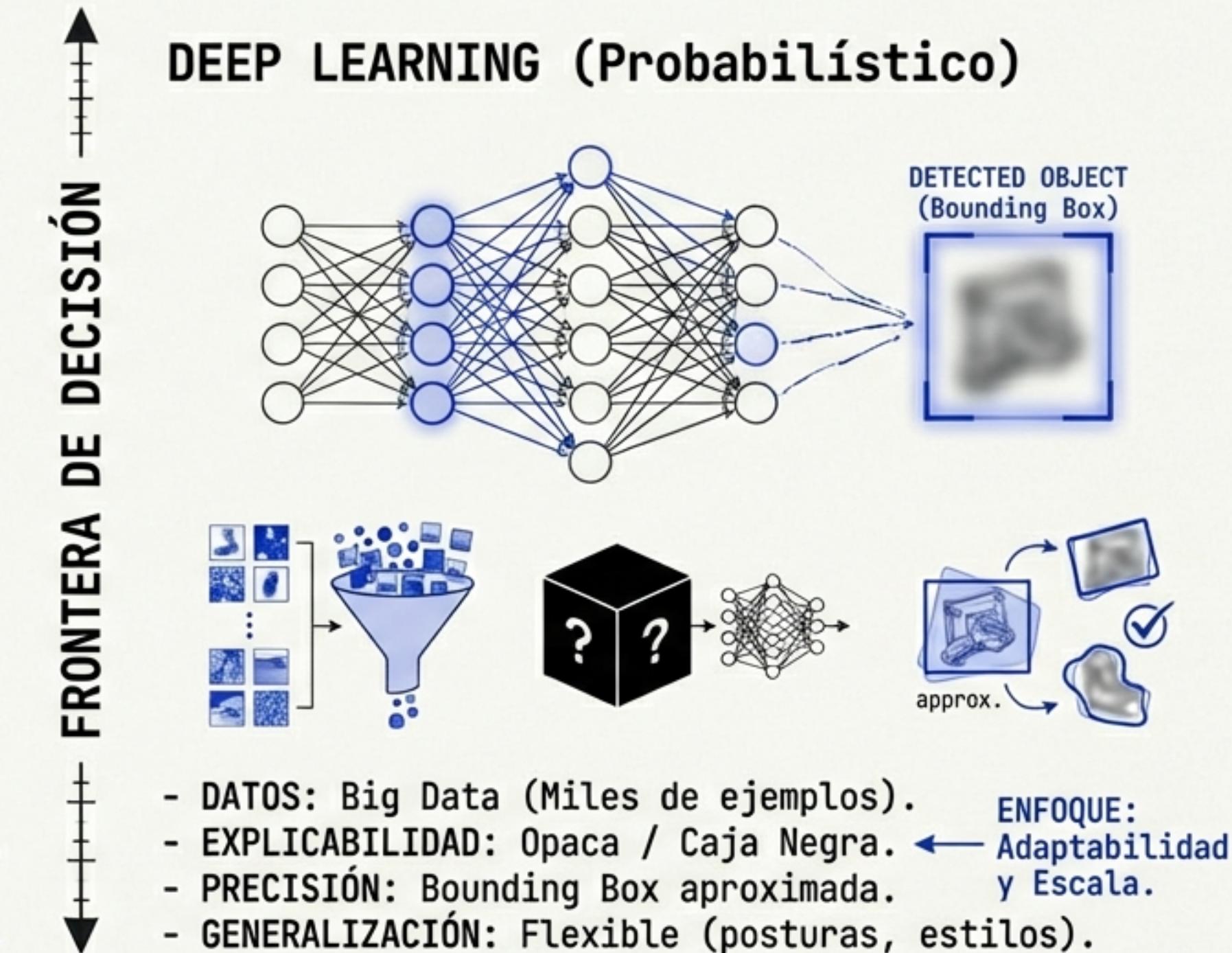
ESTRATEGIA: TEMPLATE MATCHING VS. DEEP LEARNING

TEMPLATE MATCHING (Determinista)



- DATOS: One-Shot Learning (1 ejemplo necesario).
- EXPLICABILIDAD: Matemática directa / Transparente.
- PRECISIÓN: Milimétrica / Sub-píxel.
- GENERALIZACIÓN: Rígida. ← ENFOQUE: Precisión y Control.

DEEP LEARNING (Probabilístico)



PROCESS FLOW: ESTRATEGIA COMPARATIVA

EL FUTURO HÍBRIDO: SIMBIOSIS TECNOLÓGICA

DEEP LEARNING

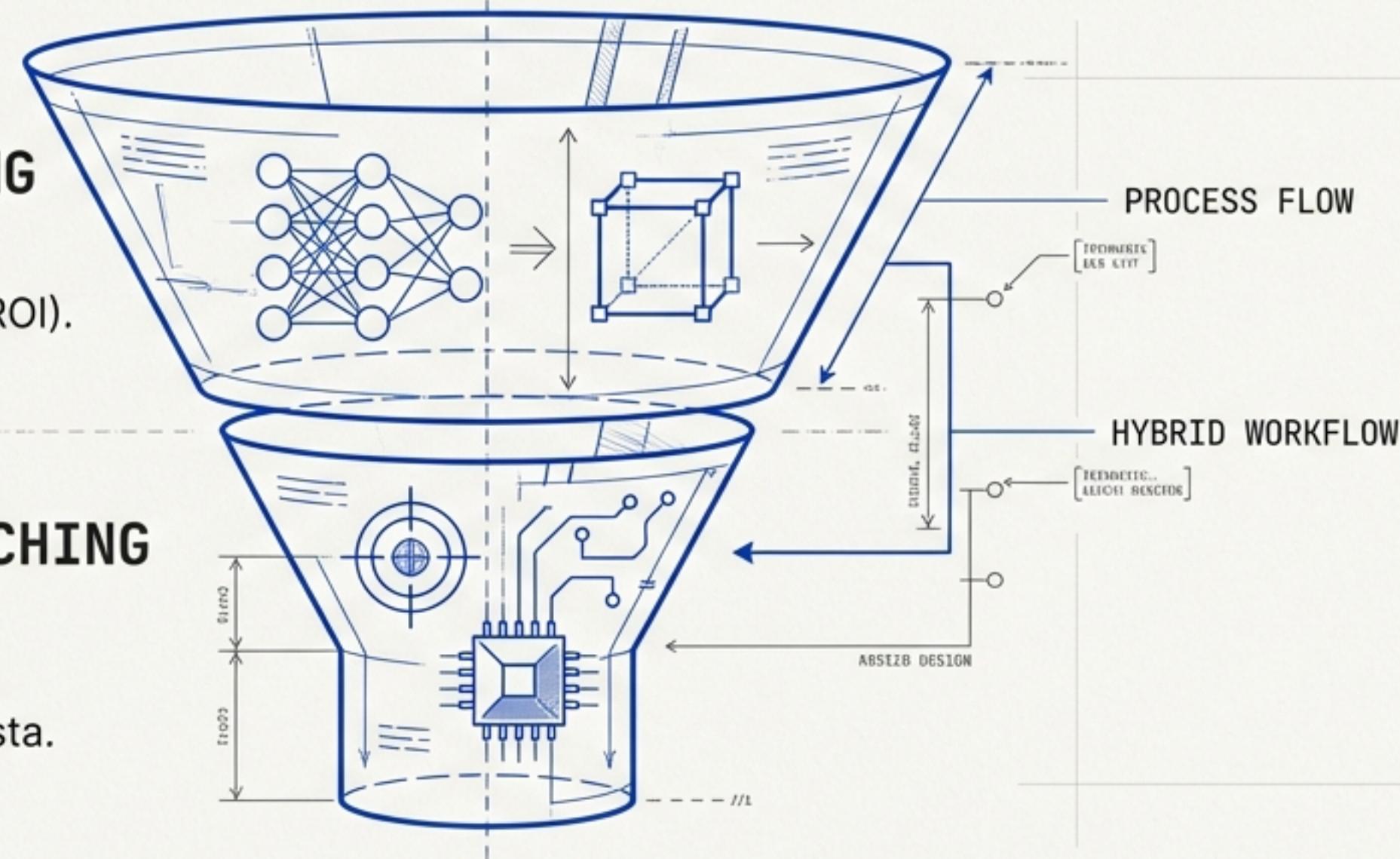


Propuesta de Región (ROI).
Rápida, flexible.

TEMPLATE MATCHING



Alineación Fina.
Precisa, determinista.



“En la ingeniería de alta precisión, lo clásico no es obsoleto; es fundamental. La verdadera innovación radica en combinar la generalización de la IA con el rigor de la geometría.”

PROCESS FLOW: EL FUTURO HÍBRIDO