

# Patrones Binarios Locales: La Arquitectura de la Textura

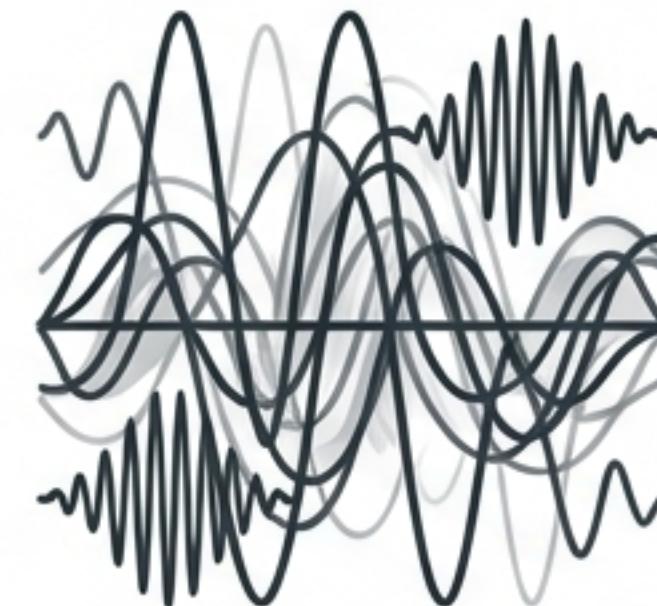
## De la Estructura de Píxeles a la Visión Artificial Eficiente

La textura es el tercer pilar de la percepción visual, junto a la forma y el color. LBP (Local Binary Patterns) transformó el análisis de imágenes al modelar la microestructura local mediante una premisa engañosamente simple: la relación entre un píxel y sus vecinos.

# El Desafío de la Invarianza

La iluminación cambia, pero la textura permanece.

**Enfoque Tradicional (Gabor/Wavelet)**



**LBP**

0	1	0
1		1
0	1	0

A 3x3 grid representing the Local Binary Pattern (LBP) code. The center cell is white (0). The surrounding eight cells are black (1), indicating a neighborhood where each pixel is darker than its neighbors.

**Lógica Binaria**

- Alta complejidad computacional, falla si cambia la luz.
- Estadística no paramétrica, robusta al contraste.

**El Problema Histórico:** Los métodos tradicionales sufrián de alta complejidad y fallaban ante cambios de iluminación.

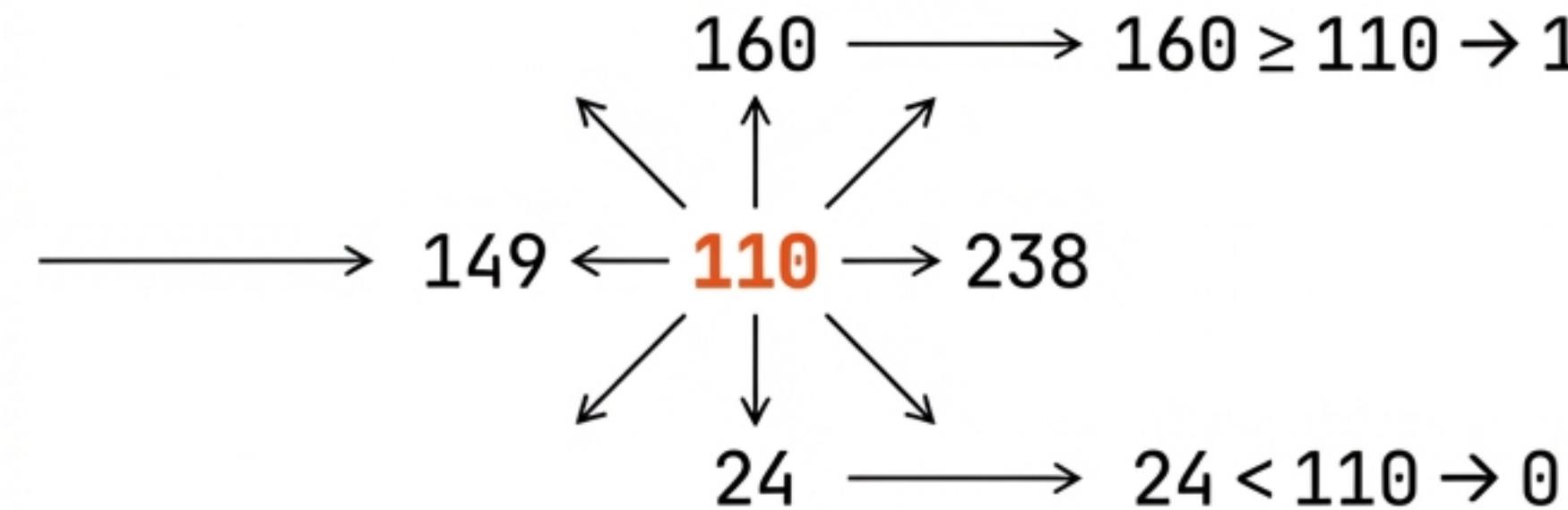
**La Solución de Ojala et al. (1990s):** Un cambio de paradigma hacia el análisis del *contraste local*.

**El Concepto Clave:** LBP no analiza la intensidad absoluta (que varía con la luz), sino la relación ‘mayor/menor’ entre vecinos. Si la luz se duplica, la relación se mantiene (Invarianza Monotónica).

# Anatomía del Algoritmo: El Vecindario 3x3

Matriz de Intensidad Original

202	160	150
149	<b>110</b>	238
218	24	52



## Paso 1: Umbralización

Operación:  $s(g_p - g_c)$

Se compara el píxel central (**110**) con cada uno de sus 8 vecinos.

Regla:

- Si Vecino  $\geq$  Centro  $\rightarrow 1$
- Si Vecino  $<$  Centro  $\rightarrow 0$

# La Codificación: De Binario a Decimal

Matriz Binaria → 11110010

1	1	1
1		1
1	0	0

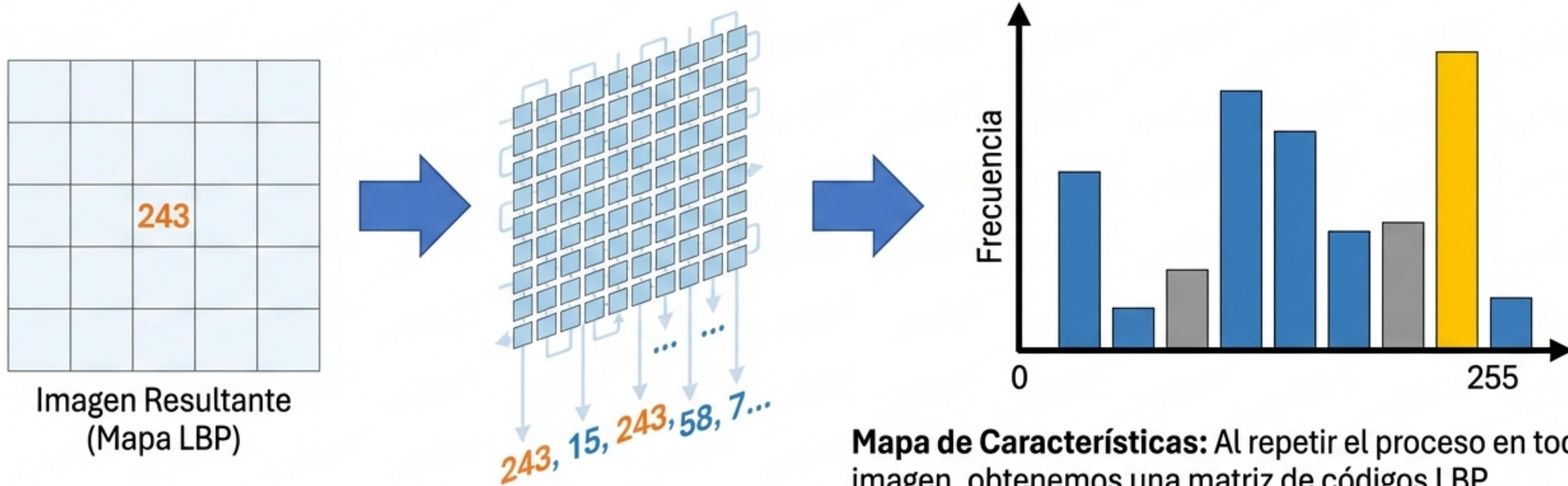
$$1 * 2^7 + 1 * 2^6 + 1 * 2^5 + 1 * 2^4 + \\ 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 0 * 2^0$$

$$128 + 64 + 32 + 16 + 0 + 0 + 2 + 0 = \textcolor{orange}{243}$$

## Paso 2: Ponderación

Cada posición tiene un peso (potencia de 2). Se suman los valores donde hay un '1'. El patrón binario se convierte en el **valor decimal 243**. Este número es la "huella digital" de esa micro-textura específica.

# El Histograma: Lo que ve la Computadora



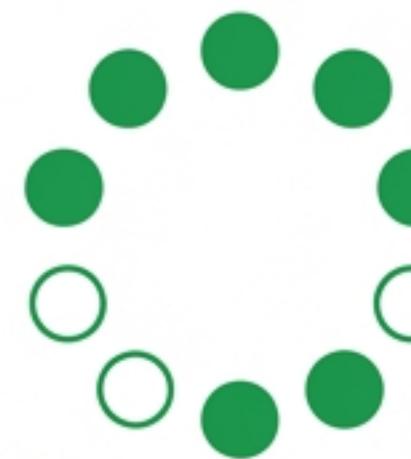
**Mapa de Características:** Al repetir el proceso en toda la imagen, obtenemos una matriz de códigos LBP.

**Reducción Estadística:** No nos importa *\*dónde\** ocurrió un borde específico, sino *\*cuántas veces\** ocurre en la región.

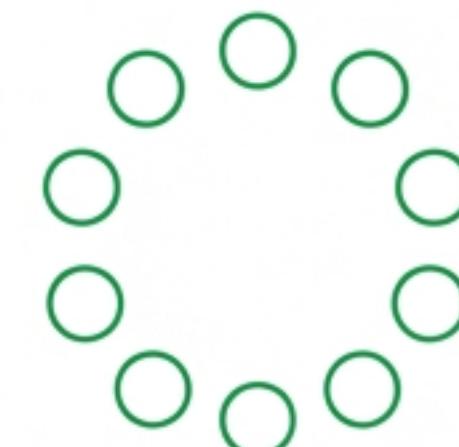
**El Descriptor:** El histograma resultante cuantifica la presencia de micro-patrones (puntos planos, bordes, esquinas). Es invariante a la iluminación global.

# Patrones Uniformes ( $LBP^{u^2}$ ): Filtrando el Ruido

**Patrones Uniformes**  
(Información Útil)



Máximo 2 transiciones  
( $0 \rightarrow 1$  o  $1 \rightarrow 0$ )



→ Región Plana

**Patrones No Uniformes (Ruido)**



→ > 2 transiciones.  
Ruido estocástico.

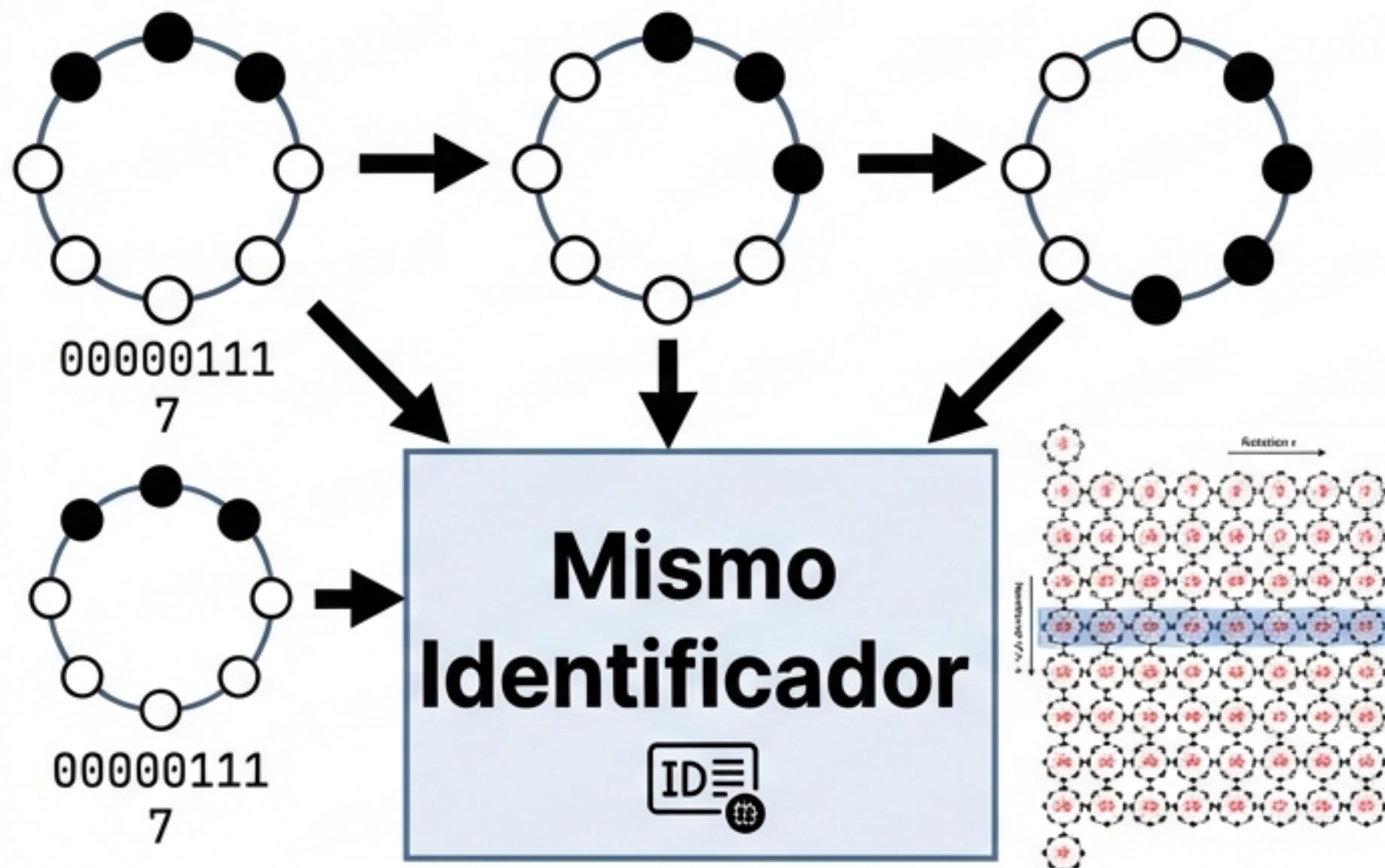
## Reducción de Dimensionalidad

Histograma Original: 256 dimensiones.

Histograma Uniforme: **59 dimensiones** (58 patrones limpios + 1 contenedor de ruido).

Ventaja: Elimina ruido de alta frecuencia y ahorra memoria.

# Desafiando la Orientación ( $LBP^{ri}$ )

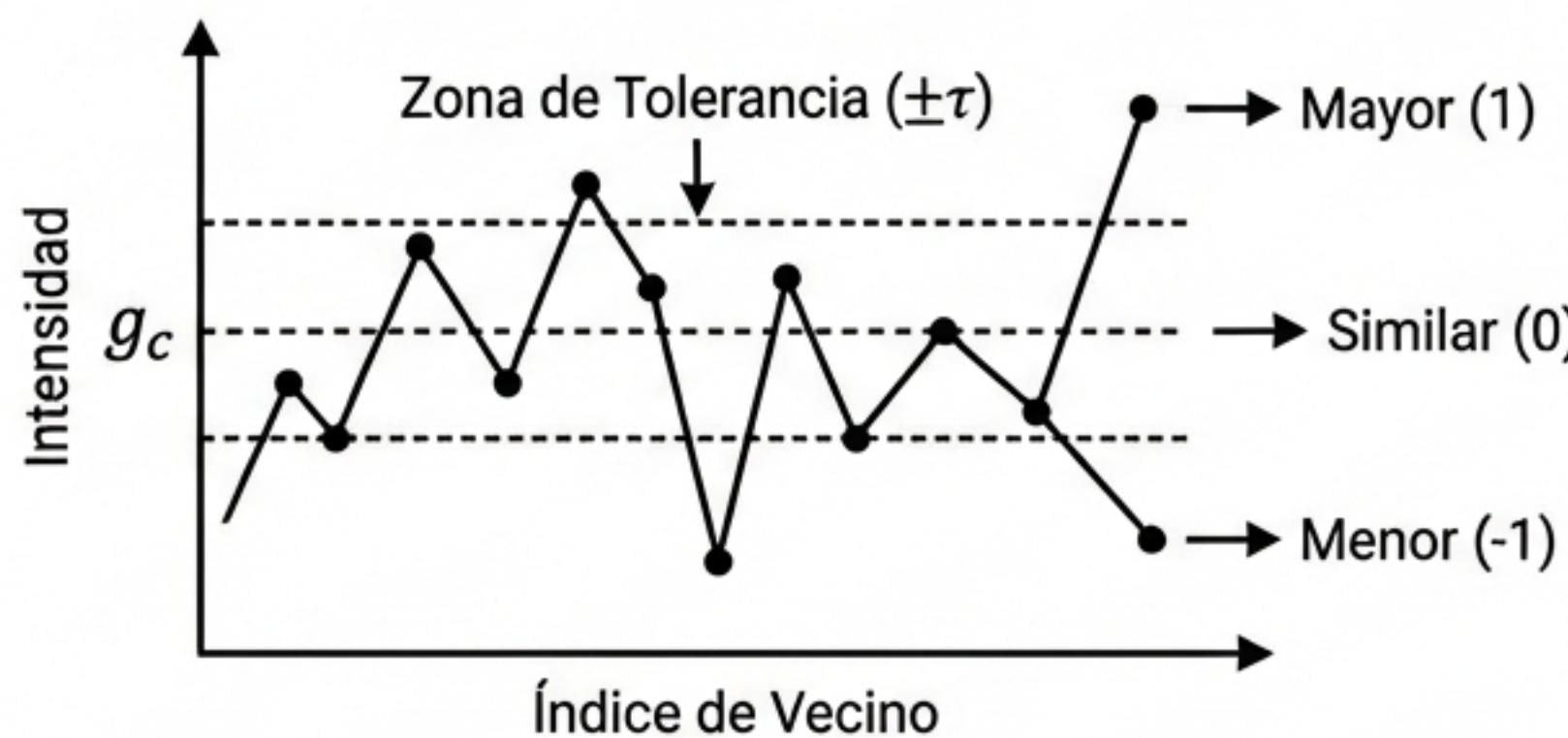


$$LBP^{ri} = \min \{ROR(LBP, i)\}$$

- **El Problema:** Al rotar la imagen, los píxeles vecinos cambian de posición, alterando el código binario.
- **La Solución Matemática:** Considerar todas las rotaciones posibles de una cadena binaria y quedarse con el valor mínimo numérico.
- **Resultado:** Un borde vertical y un borde horizontal se identifican como la misma estructura.
- **Compresión Extrema:** Uniformidad + Invarianza Rotacional ( $LBP^{riu2}$ ) = **10 características fundamentales**.

# Más allá del Binario: Robustez Avanzada

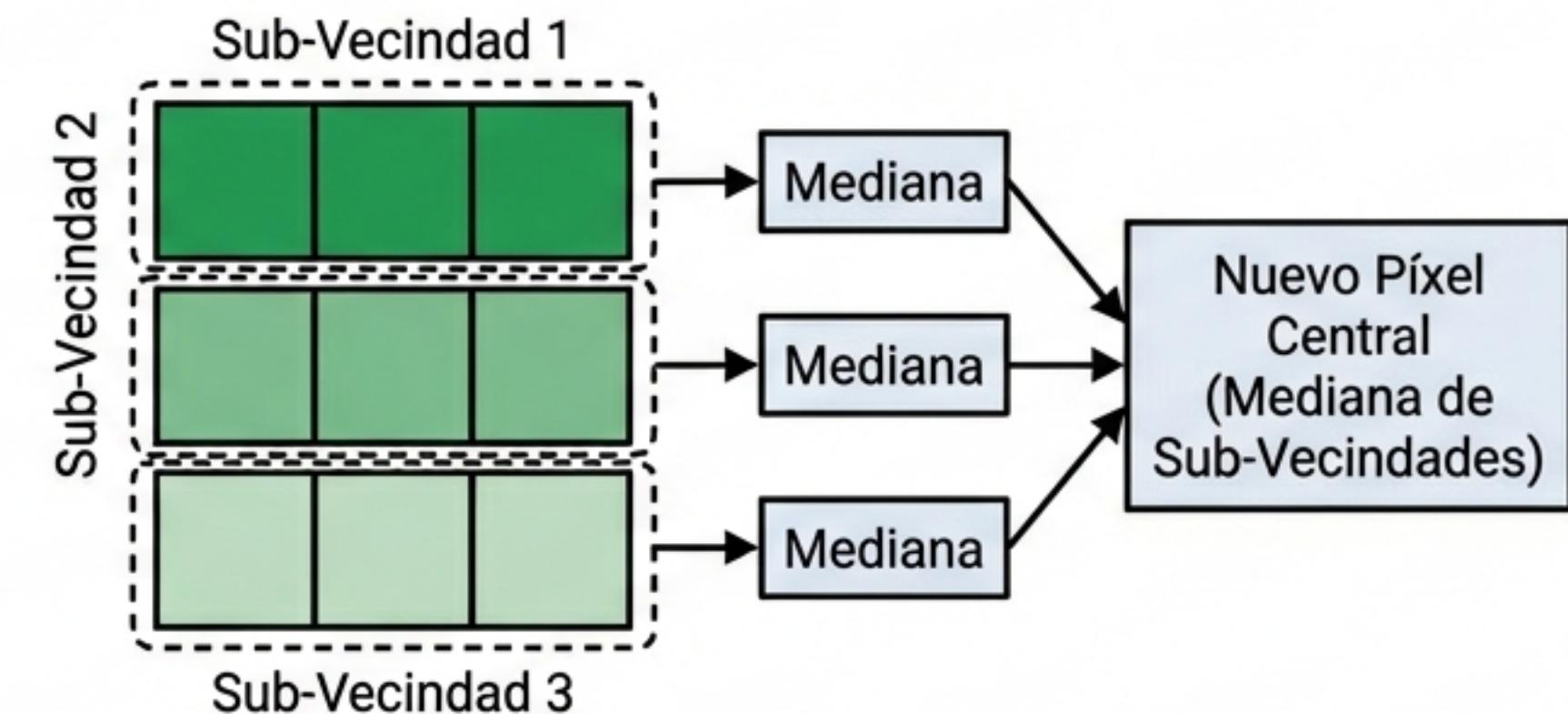
## LTP (Local Ternary Patterns)



Introduce una zona de tolerancia para combatir el ruido térmico.

**Resultados:** 1 (Mayor), 0 (Similar), -1 (Menor).

## MRELBP (Median Robust Extended LBP)



Sustituye el píxel individual por la **mediana** de una sub-vecindad. Captura macro-estructuras y es altamente resistente al desenfoque y ruido en exteriores.

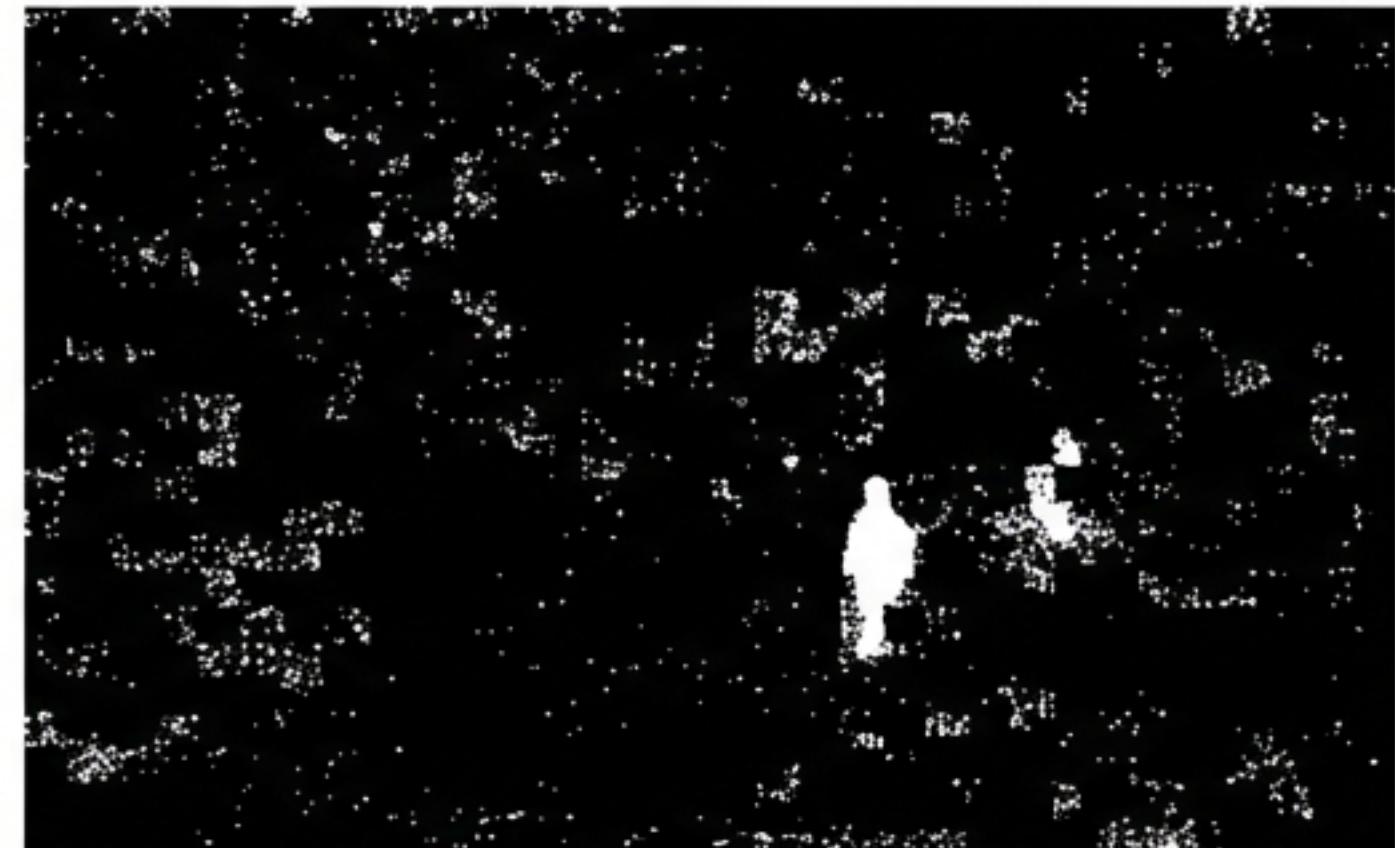
# Caso de Estudio: BGLBP (BackGround LBP)

## Detección de Movimiento en Video

Métodos Tradicionales (Falla ante cambios de luz)



BGLBP (Éxito)

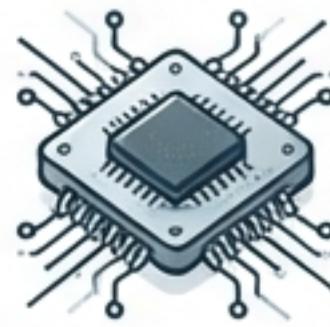


**El Desafío:** Cambios repentinos de iluminación (nubes, luces) rompen la sustracción de fondo tradicional.

**Innovación BGLBP:** Combina textura espacial con un promedio temporal gaussiano.

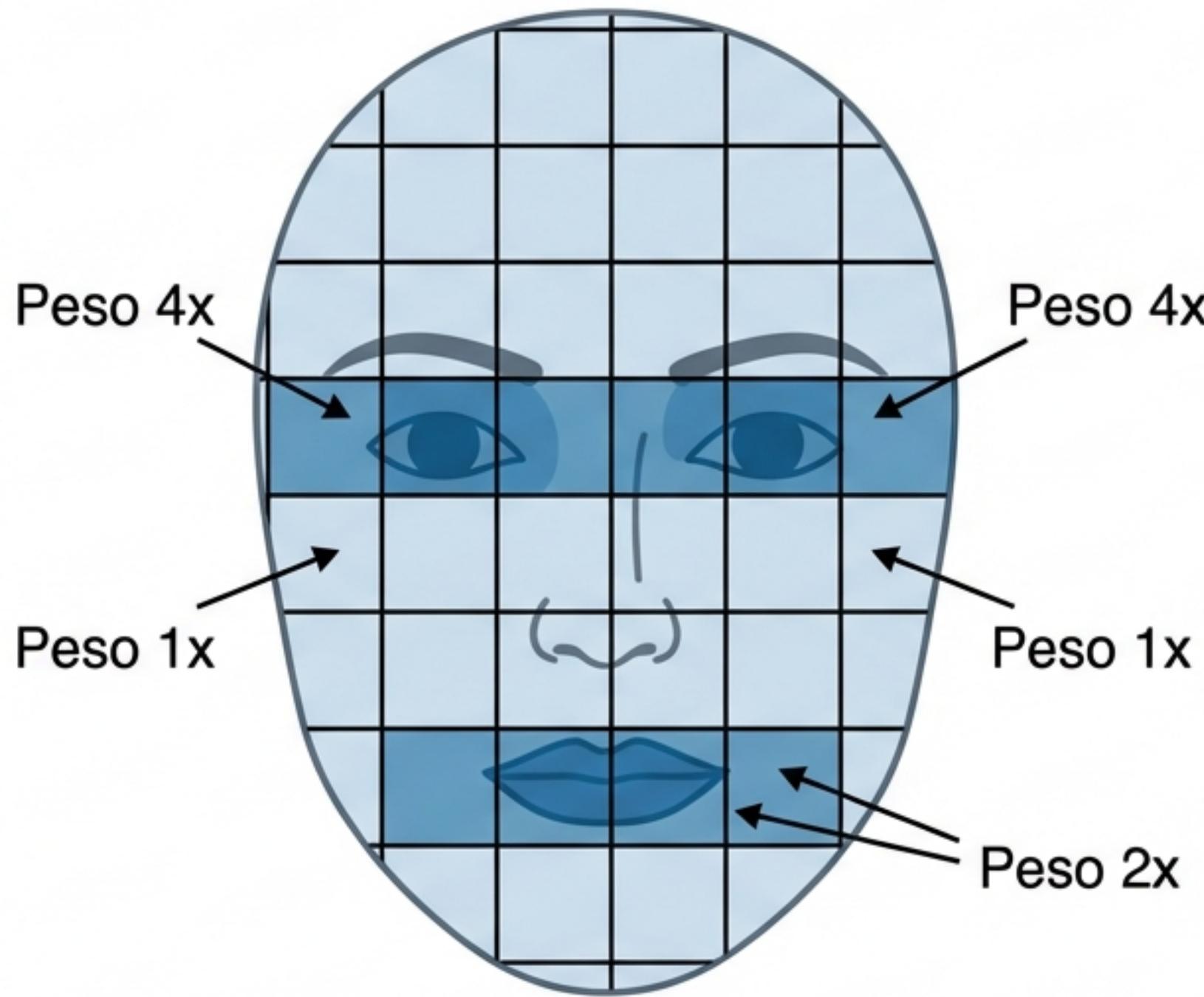
**Mecánica:** Usa el promedio de intensidad local como umbral adaptativo. Detecta objetos reales ignorando sombras y cambios globales.

# LBP vs. Deep Learning: La Batalla por el Borde

Deep Learning (CNNs)	LBP (Edge AI)
	 <p>LBP: Corre en CPU simple (Raspberry Pi). Computación en el borde.</p>
	 <p>LBP: "Zero-shot". No requiere entrenamiento previo.</p>
	 <p>LBP: "Caja Blanca". Matemáticamente auditabile.</p>

**Veredicto:** LBP domina en aplicaciones de *Small Data*, baja latencia y consumo energético crítico.

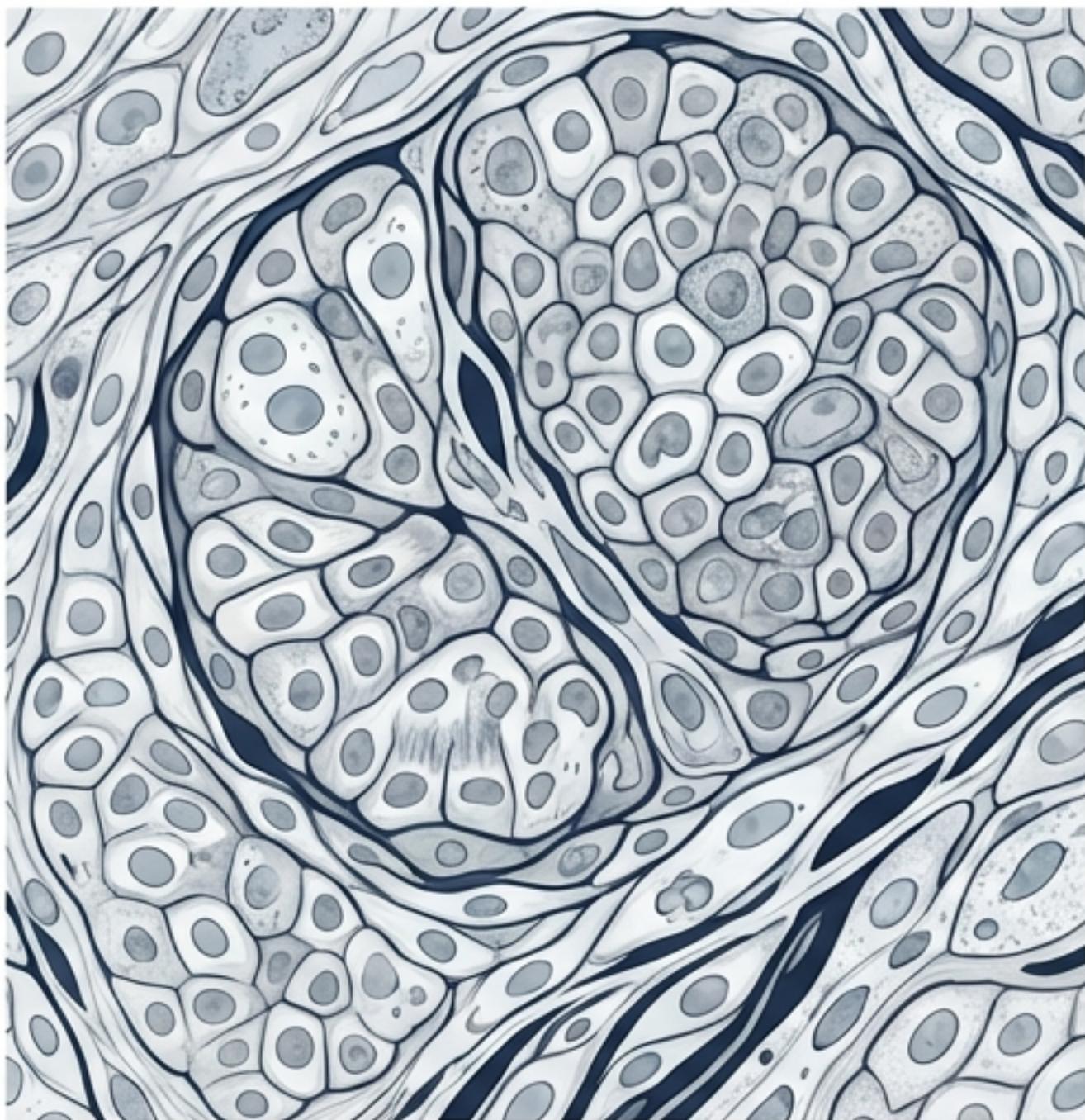
# Aplicación: Biometría Facial y 'Liveness'



**El Algoritmo de Ahonen:** Divide el rostro en una rejilla espacial. No todas las zonas son iguales; los ojos y la boca contienen más información discriminante.

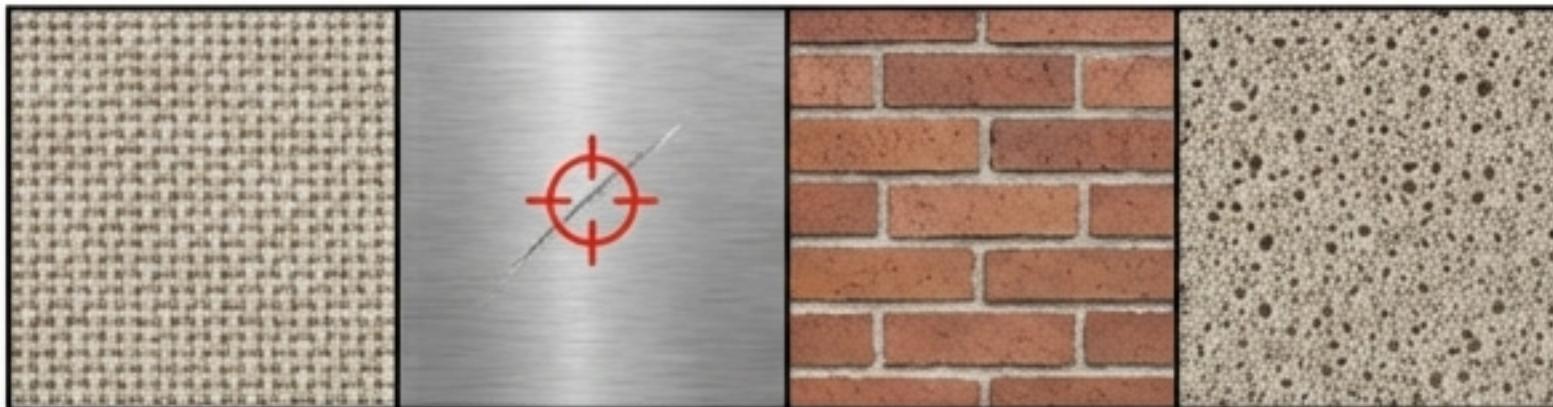
**Anti-Spoofing (Prueba de Vida):** LBP detecta la micro-textura de la piel viva (dispersión de luz) diferenciándola de una máscara o una fotografía impresa (trama de papel). Crucial para la seguridad de identidad.

# Aplicación: Histopatología Digital



- **El Caos del Cáncer:** Los tumores se caracterizan por una desorganización tisular caótica.
- **El Problema del Color:** Las tinciones químicas varían entre laboratorios, haciendo que el color sea poco fiable para el diagnóstico automatizado.
- **Solución LBP:** Cuantifica la morfología pura (rugosidad, orientación) ignorando el color.
- **Valor Clínico:** Actúa como una 'segunda opinión' auditabile para distinguir carcinomas y predecir supervivencia (Radiómica).

# Aplicación: Industria 4.0 y Control de Calidad



**Escenario:** Inspección de acero laminado o textiles a metros por segundo.

**Desafío:** Superficies reflectantes y vibraciones mecánicas.

## Uso de LBP:

- Detección de defectos (arañazos, peladuras) invisibles al ojo humano.
- La invarianza monotónica ignora los brillos del metal, enfocándose solo en la ruptura del patrón de superficie.

# Implementación y Ecosistema

## OpenCV (C++)

`Clase: LBPHFaceRecognizer`

Optimizada para producción  
y reconocimiento facial en  
tiempo real.

## Python (scikit-image)

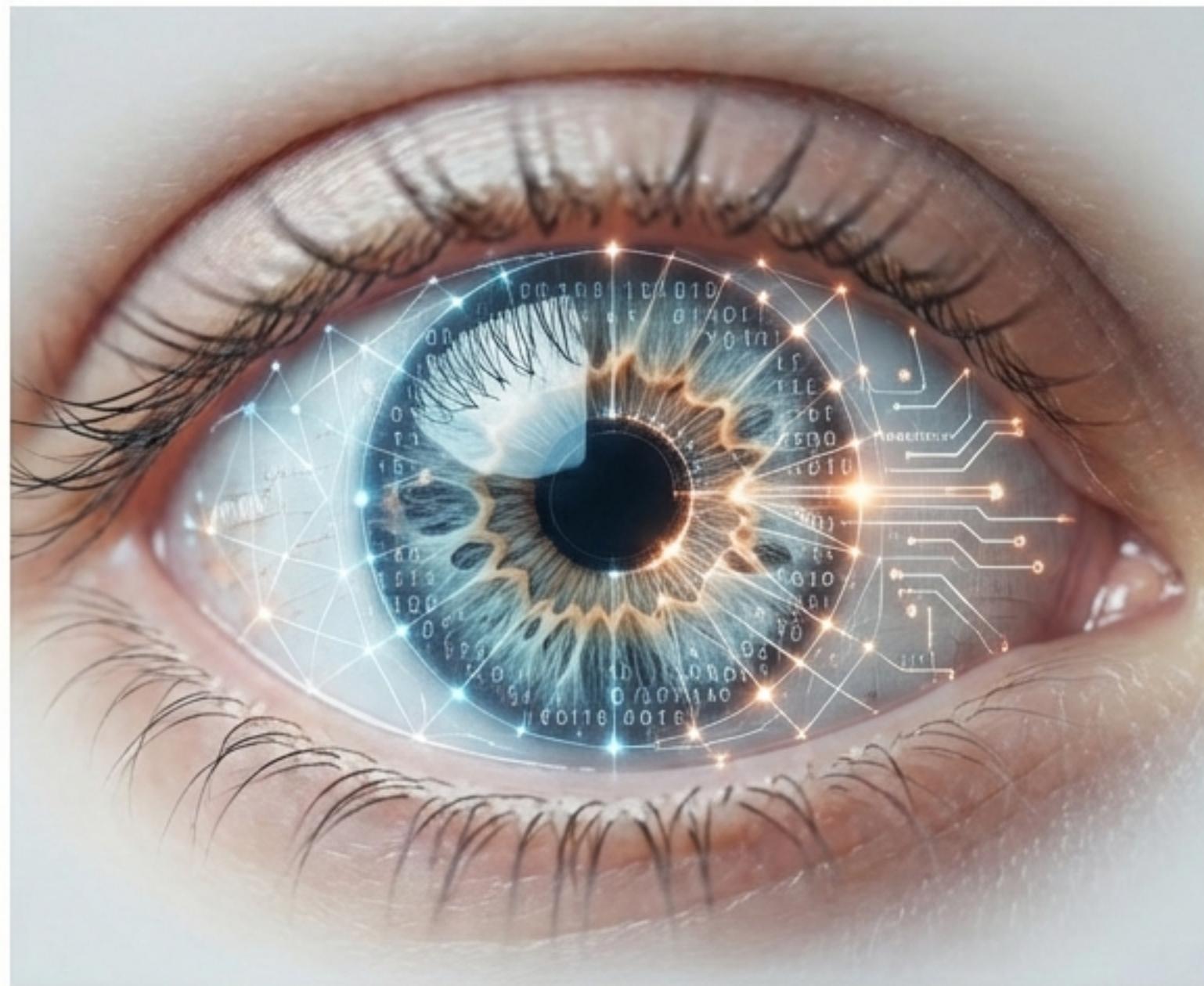
`Función:  
local\_binary\_pattern(image, P, R)`  
Flexible para investigación y  
prototipado rápido.

## MATLAB

Ideal para operaciones  
vectorizadas de matrices.

**Nota Técnica Crítica:** Cuidado con los tipos de datos (*float* vs *int*). Los errores de redondeo en punto flotante pueden alterar la umbralización estricta. Se recomienda usar una tolerancia *epsilon*.

# La Persistencia de la Textura



LBP ha evolucionado de un operador simple a una familia robusta de descriptores (BGLBP, MRELBP, LTP).

En un mundo dominado por la IA compleja, la elegancia matemática, la interpretabilidad y la eficiencia de LBP aseguran su futuro.

**Conclusión:** Para la visión artificial en el borde (IoT, Wearables, Medicina), la textura sigue siendo la huella digital más fiable de la realidad.