

JORNADA

ANÁLISIS OPERATIVO DE PARQUES EÓLICOS

Estimación de distancia mediante
visión estereoscópica para la
detección de avifauna en parques
eólicos: fundamentos, límites físicos y
alternativas



¿Qué es solute?

solute

Consultoría de ingeniería multidisciplinar

+120
empleados
en 4 oficinas

20
años
de experiencia

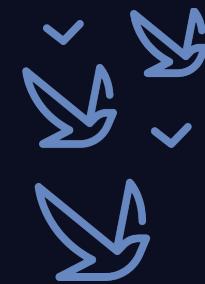
12
áreas de
conocimiento

- **Multidisciplinar:** trabajo en más de 6 industrias y 12 áreas de conocimiento
- **Internacional:** proyectos y colaboraciones a escala global
- **Innovación:** I+D+i como pilar de SOLUTE



Contexto - detección de aves en parques eólicos

solute



Mortalidad alta de avifauna en parques eólicos



Limitaciones en los métodos actuales de detección (humanos y sensores tradicionales)



Exigencias regulatorias crecientes y nuevas normativas

Proyecto de real decreto por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión y para la prevención de la mortalidad en aerogeneradores.

Aerogenerador de 5 MW (30 años de funcionamiento)	Coste para el promotor (€)	Coste para la sociedad (€)	Coste total (€)
Primer milano real: (parada de 3 meses)	Energía no producida: 225.000 € Medidas correctoras: 100.000 € Total 325.000 €	Coste derechos CO2 no evitado: 104.062 € Coste gas sustitutivo importado: 375.000 € Total: 479.062 €	804.062 €
Segundo milano real (en menos de 5 años): (parada de 12 meses)	Energía no producida: 900.000 € Medidas correctoras: 200.000 € Total 1.100.000 €	Coste derechos CO2 no evitado: 416.250 € Coste gas sustitutivo importado: 1.500.000 € Total: 1.916.250 €	3.016.250 €
Coste Total primeros dos accidentes	1.425.000	2.395.312	3.820.312 €
Tercer milano real (en menos de 5 años): (desmantelamiento aerogenerador) (Costes acumulados por los 25 años restantes que hubiera funcionado el aero)	Coste de desmantelar el aero: 150.000 € Pérdida del valor del aero (16,6%): 833.333 € Energía no producida: 22.500.000 € Total: 23.483.333 €	Coste derechos CO2 no evitados: 10.406.250 € Coste gas sustitutivo importado € 33.750.000 € IAE no percibido ayto: 130.000 € BICES no percibido ayto: 270.000 € Alquiler terrenos no percibido ayto: 100.000 € Canon autonómico no percibido: 9.375.000 Total: 54.031.250 €	77.514.583 €
Coste Total 3 accidentes	24.908.333	56.426.562	81.334.895 €

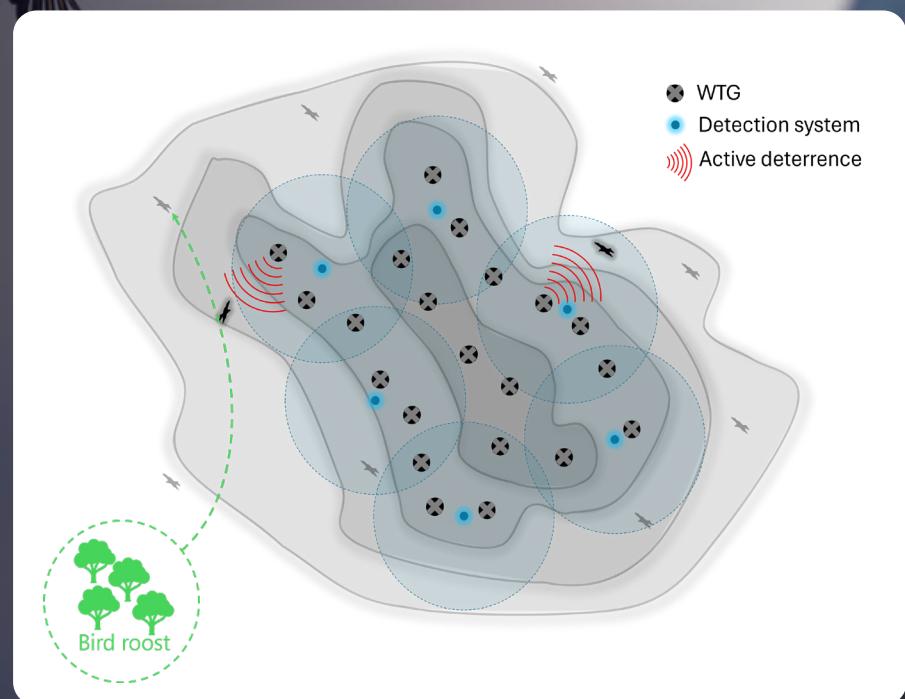
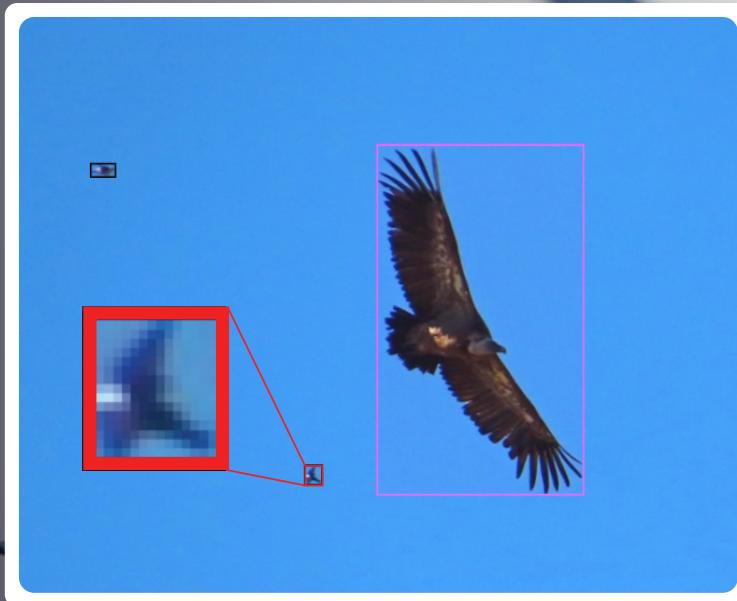
Gráfico: AEE - estimación costes GT Medioambiente



Sistema de detección de aves, disuasión y parada en parques eólicos

Minimiza las colisiones de aves con turbinas eólicas gracias a las 4 funcionalidades:

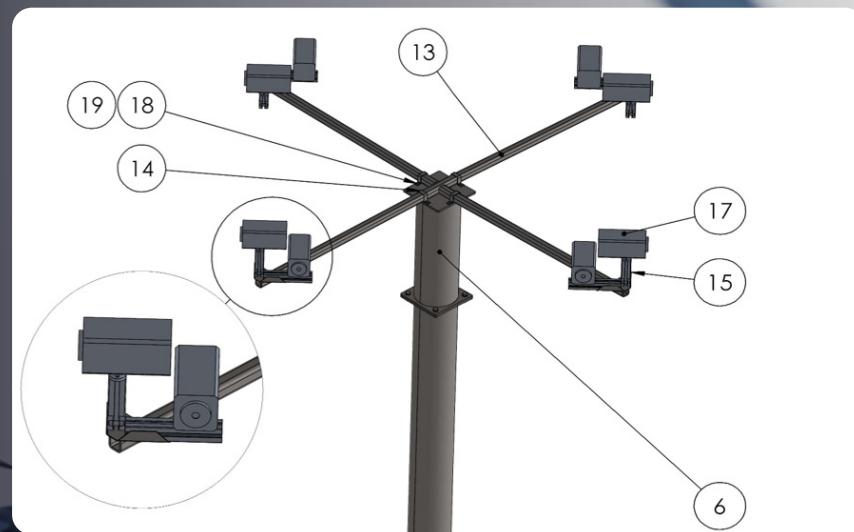
1. Identificación y clasificación en tiempo real de aves
2. Sistema multicapa para la disuasión y alerta de las aves
3. Sistema de apagado inteligente, activado en situaciones de alto riesgo
4. El sistema incluye un dashboard web que permite monitorización y reporting en tiempo real



Componentes clave



- **Cámaras industriales de alta resolución de 47MP** (8 cámaras montadas en una torre de 6 metros, proporcionando cobertura completa de 360°).
- **Modelos de IA basados en Redes Neuronales Convolucionales (CNNs) y Transformers**, usando modelos estado del arte en aprendizaje profundo.
- **Edge inference infrastructure**, que permite procesamiento en tiempo real y respuesta rápida sin necesidad de conectividad constante a internet.
- **Despliegue rápido**: diseñamos todos nuestros componentes (incluida la torre) internamente. Instalación de dispositivos de detección y módulos de disuasión en un solo día.



solute

Distintos enfoques para determinar distancias

solute

Cámaras

Ventajas

- Clasificación de especies directa
- Coste más bajo que el radar

Desventajas

- Alcance limitado (1 km aproximadamente)
- Depende de condiciones, luz y clima

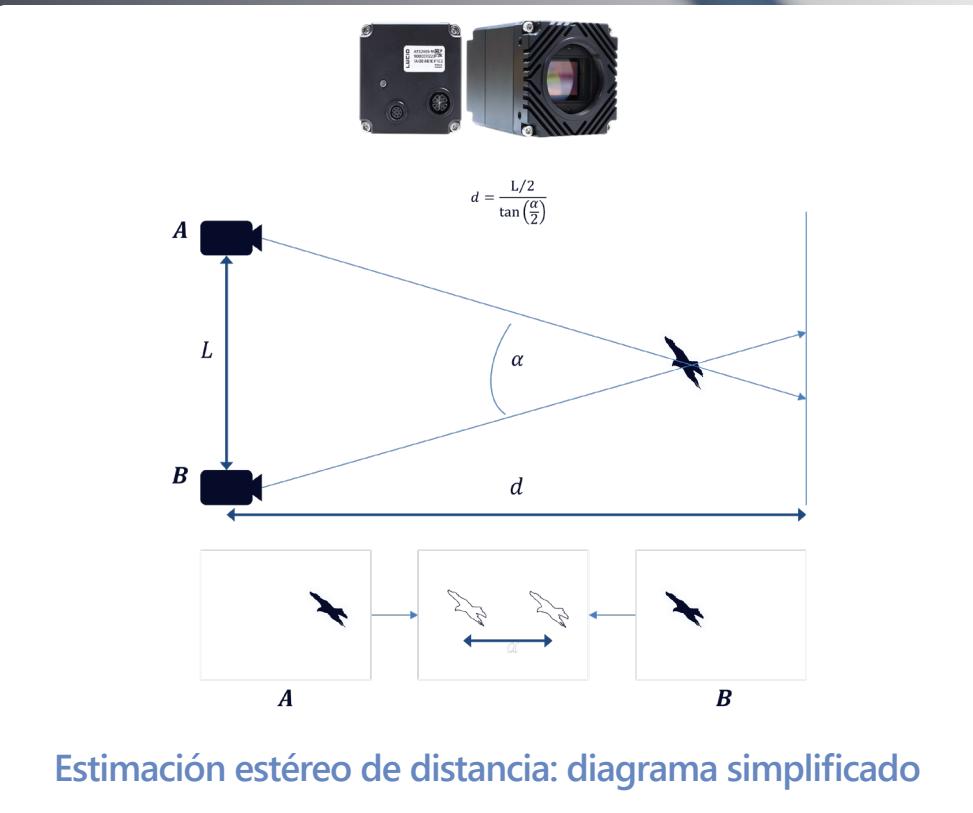
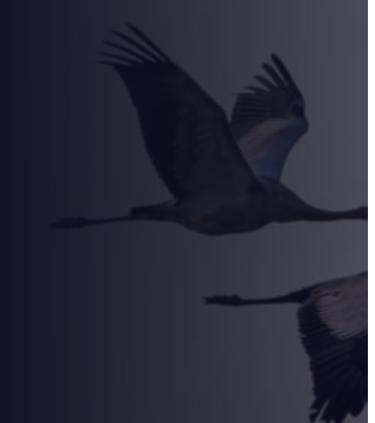
Radar

Ventajas

- Gran alcance (5-10km)
- Independencia de condiciones de luz
- Detección de objetivos muy pequeños ($RCS < 0,01m^2$, incluso microdrones o aves pequeñas)
- Medición directa de posición 3D
- Alta frecuencia de refresco

Desventajas

- Coste elevado
- Clasificación limitada por sí solo: no distingue especies, necesita complementar con cámaras.
- Mantenimiento más complejo



Estimación estéreo de distancia: diagrama simplificado



Fundamentos de geometría epipolar

solute

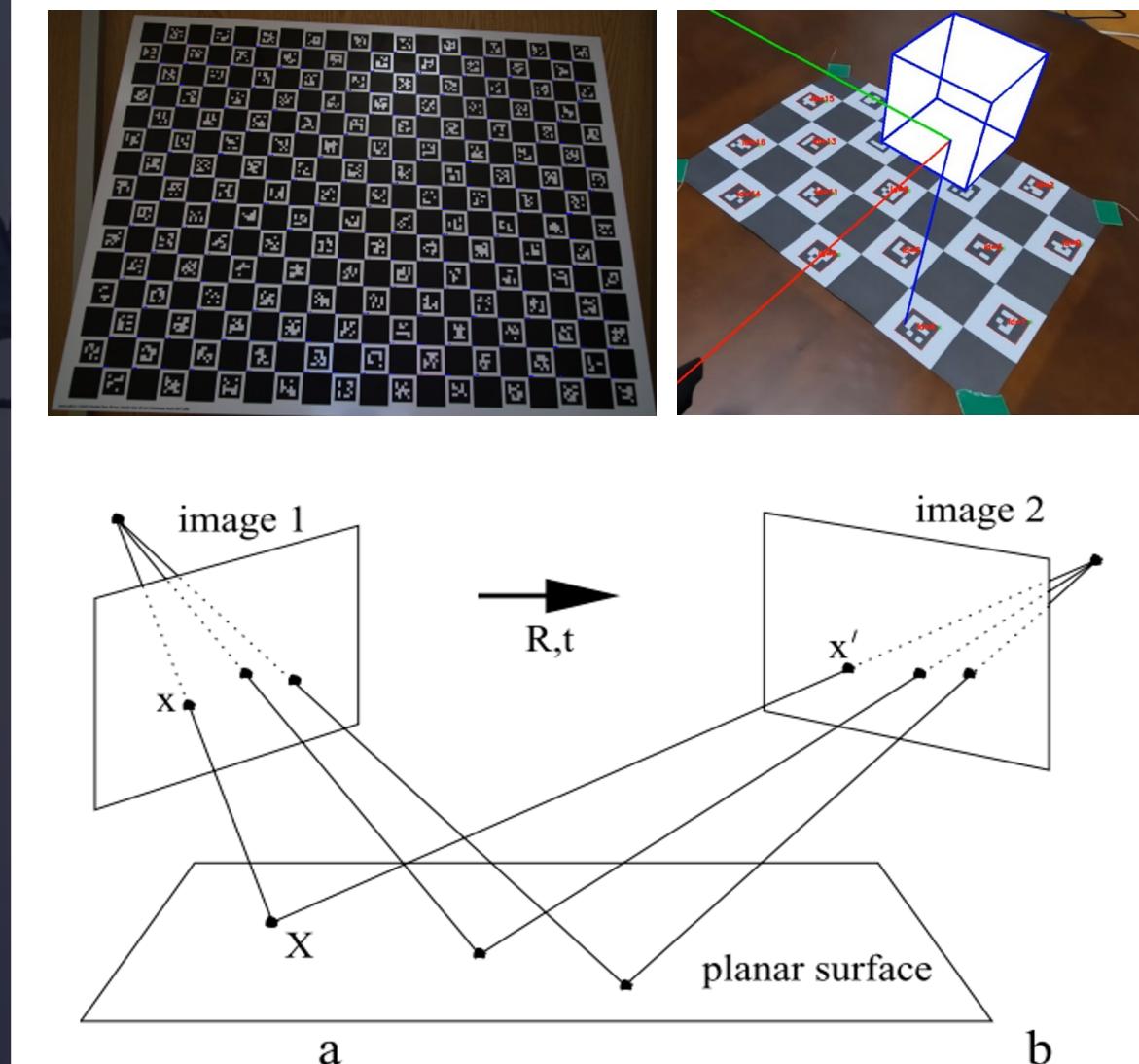
Cada cámara proyecta la escena 3D en un plano 2D. La posición de un objeto en la imagen depende de su distancia focal y la distancia real al sensor.

Parámetros intrínsecos:

- Caracterizan la transformación a sistemas de coordenadas de píxeles de cada cámara
- Distancia focal, centro de la imagen, relación de aspecto, coeficientes de distorsión
- Calibración con tableros

Parámetros extrínsecos:

- Describen la posición y orientación relativas a las cámaras
- Matriz de rotación (R) y vector de traslación (t)
- Calibración por identificación de puntos conocidos (mínimo 8 en ambas caras).



Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Multiple View Geometry in computer vision. Cambridge University Press.

Factores limitantes

solute

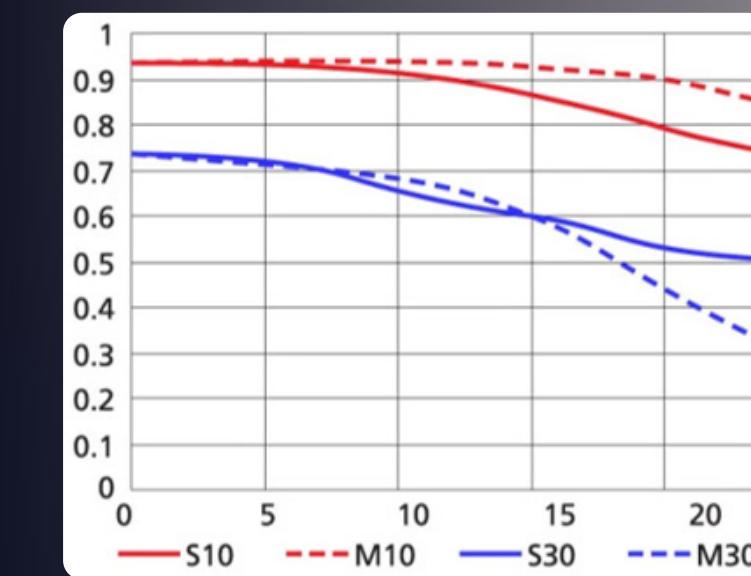
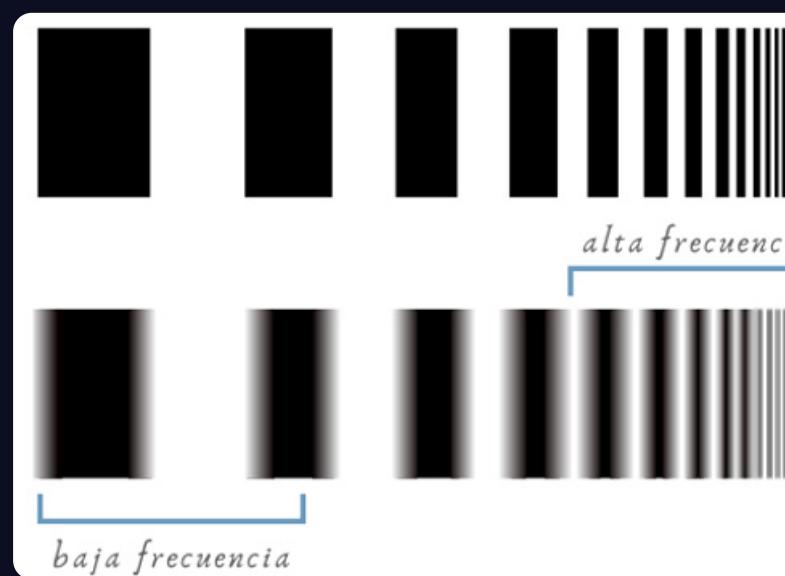
- Resolución
- FOV $\circ f$

Resolución angular

$$\frac{px}{deg} \approx \frac{resolution}{FOV}$$

$$\left[\begin{array}{l} 4K + FOV 90^\circ = 42.7 \text{ px/}^\circ \\ 4K + FOV 25^\circ = 153.6 \text{ px/}^\circ \\ 8K + FOV 90^\circ = 85.3 \text{ px/}^\circ \end{array} \right]$$

- Baseline (distancia entre cámaras)
- Calibración (muy sensible), calidad de la lente (curvas MTF), global vs rolling shutter, etc.
- Sincronización de pares de cámaras estereoscópicas



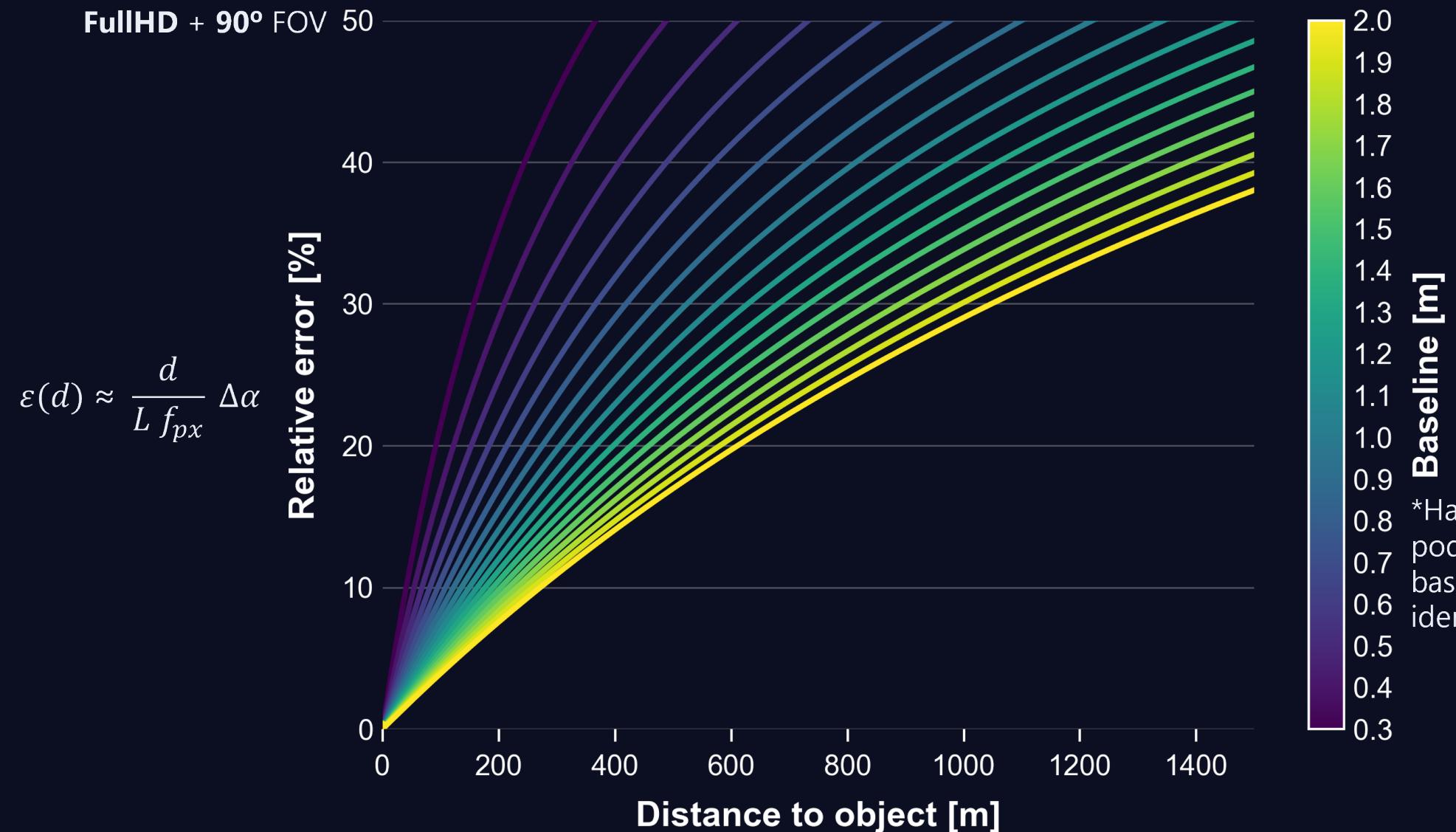
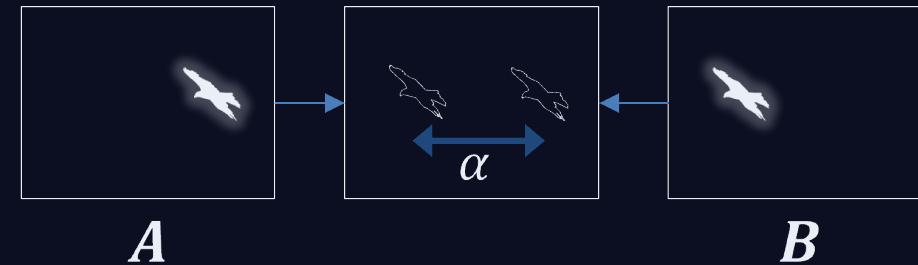
Error en la determinación de la distancia a un objeto

solute

Cálculo del error "para andar por casa": $\Delta d \approx \frac{d^2}{L f_{px}} \Delta \alpha$

Inv. proporcional a la Resolución angular

$\Delta \alpha = \text{error típico de correspondencia} / \text{error disparidad}$



*Hay límites a cuánto podemos aumentar el baseline (pérdida de identificación de objetos)

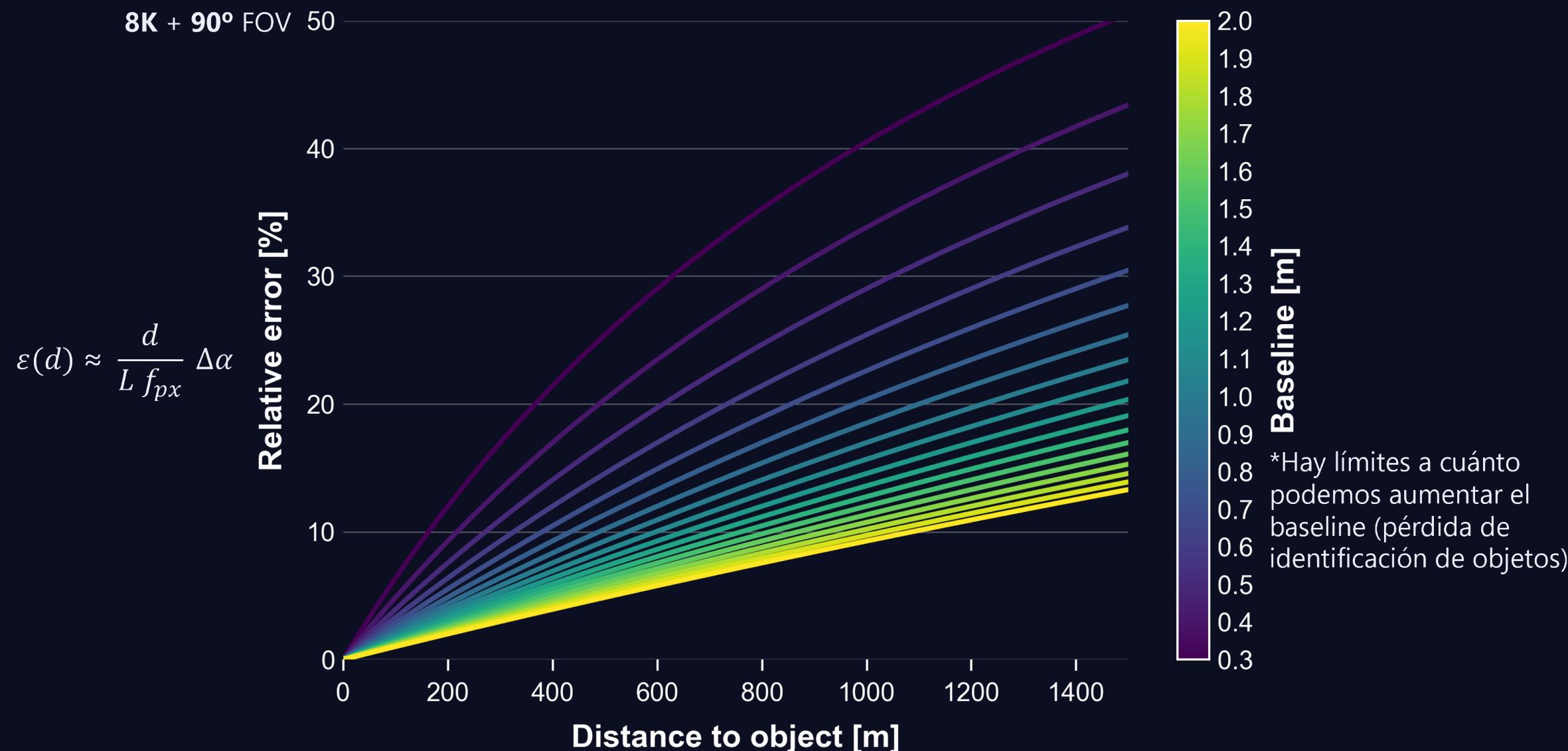
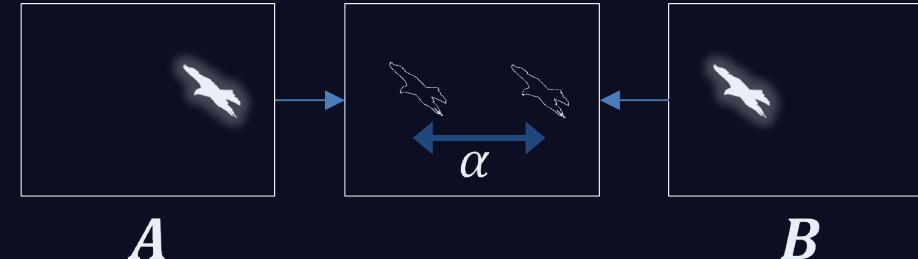
Error en la determinación de la distancia a un objeto

solute

Cálculo del error "para andar por casa": $\Delta d \approx \frac{d^2}{L f_{px}} \Delta\alpha$

Inv. proporcional a la Resolución angular

$\Delta\alpha = \text{error típico de correspondencia} / \text{error disparidad}$



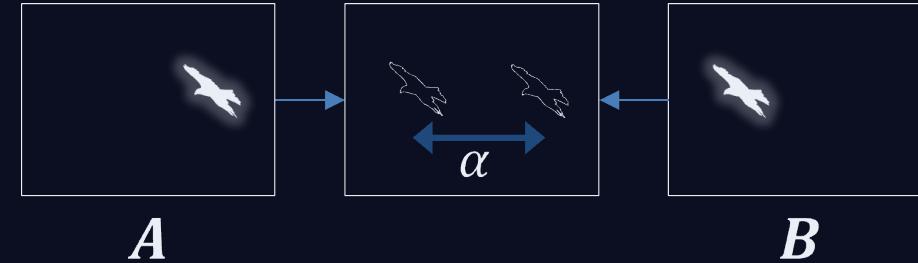
Error en la determinación de la distancia a un objeto

solute

Cálculo del error "para andar por casa": $\Delta d \approx \frac{d^2}{L f_{px}} \Delta\alpha$

Inv. proporcional a la
Resolución angular

$\Delta\alpha = \text{error típico de correspondencia} / \text{error disparidad}$



A

B

FullHD + 25° FOV



$$\varepsilon(d) \approx \frac{d}{L f_{px}} \Delta\alpha$$

Relative error [%]

50

40

30

20

10

0

Distance to object [m]



Baseline [m]

*Hay límites a cuánto
podemos aumentar el
baseline (pérdida de
identificación de objetos)

Configuraciones (en torre o mástil)

solute

Sistemas monoculares: estimación indirecta de la distancia

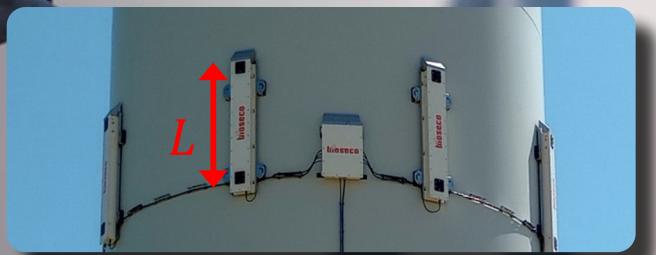


DTBird©

Sistemas estéreo: distancia entre cámaras grande, focal mediana/pequeña (FOV ancho), seguimiento simultáneo de varios objetivos



ArtificialVision©



Bioseco©

Binocular móvil: distancia entre cámaras pequeña, focal grande (FOV estrecho), seguimiento simultáneo de 1 único objetivo. Compacto.



Identiflight©



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE HACIENDA



Avenida Cerro del Águila, 3
28703 San Sebastián de los Reyes
Madrid

Carretera de l'hospitales, 147
Edif. Lisboa 3ºA
08940 Cornellà de Llobregat
Barcelona

Consultas generales:
marketing@solute.es



solute.es

"INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS EFICACES
DE DETECCIÓN Y PROTECCIÓN DE AVES EN
PARQUES EÓLICOS"
Proyecto cofinanciado por Fondos Europeos y
Junta de Extremadura

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Educación, Ciencia y Formación Profesional

solute