



# solute

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



**TISAX**<sup>®</sup>

# 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.




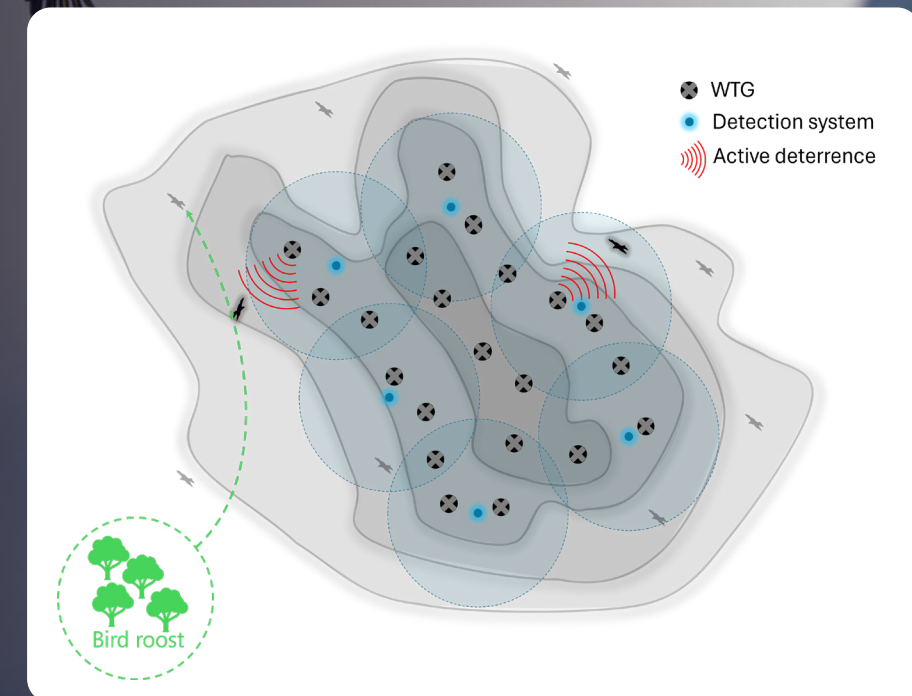
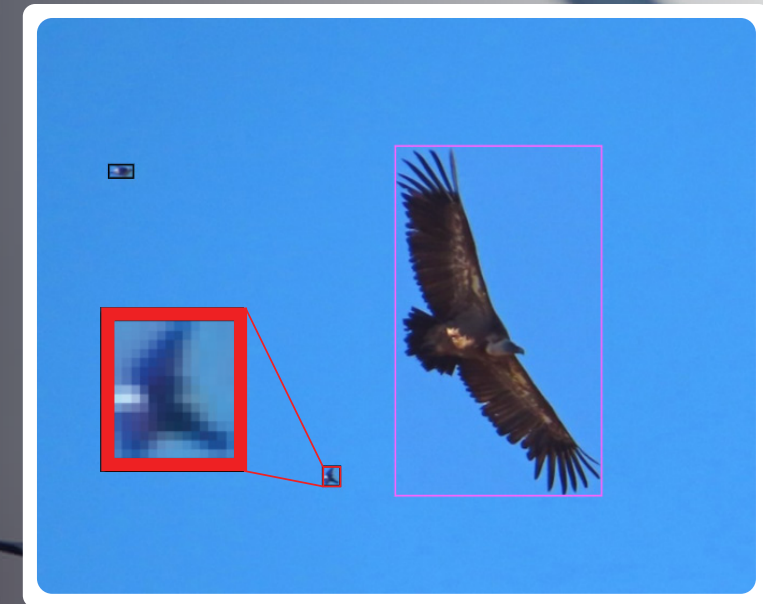
Aerogenerador de 5 MW (30 años de funcionamiento)	Coste para el promotor (€)	Coste para la sociedad (€)	Coste total (€)
<b>Primer milano real:</b> (parada de 3 meses) 	Energía no producida: 225.000 €  Medidas correctoras: 100.000 €  <b>Total 325.000 €</b>	Coste derechos CO2 no evitado: 104.062 €  Coste gas sustitutivo importado: 375.000 €  <b>Total: 479.062 €</b>	<b>804.062 €</b>
<b>Segundo milano real (en menos de 5 años):</b> (parada de 12 meses) 	Energía no producida: 900.000 € Medidas correctoras: 200.000 € <b>Total 1.100.000 €</b>	Coste derechos CO2 no evitado: 416.250 €  Coste gas sustitutivo importado: 1.500.000 €  <b>Total: 1.916.250 €</b>	<b>3.016.250 €</b>
<b>Coste Total primeros dos accidentes</b>	<b>1.425.000</b>	<b>2.395.312</b>	<b>3.820.312 €</b>
<b>Tercer milano real (en menos de 5 años):</b>  (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 €  <b>Total: 23.483.333 €</b>	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  <b>Total: 54.031.250 €</b>	<b>77.514.583 €</b>
<b>Coste Total 3 accidentes</b>	<b>24.908.333</b>	<b>56.426.562</b>	<b>81.334.895 €</b>

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



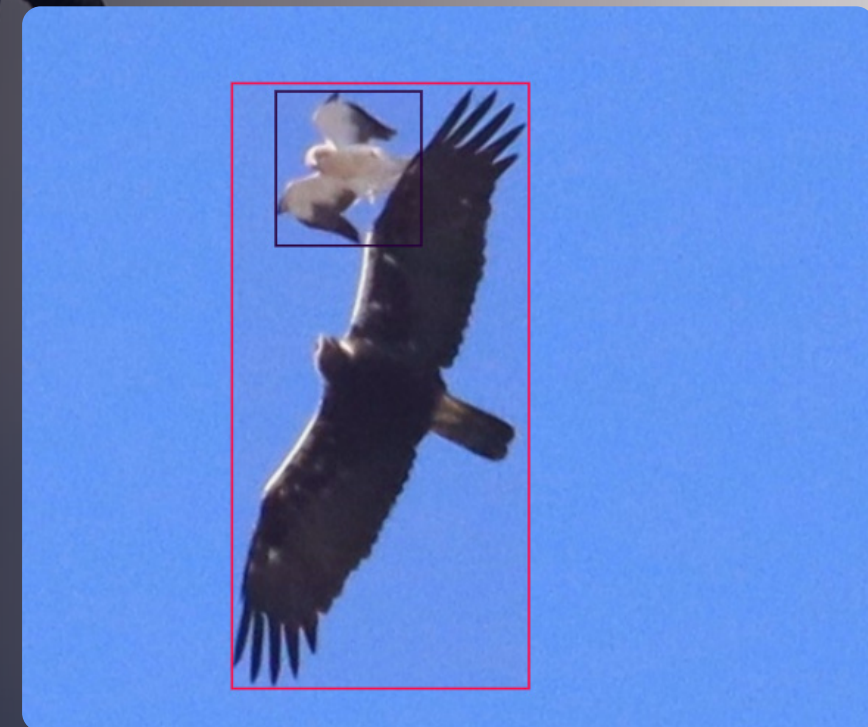
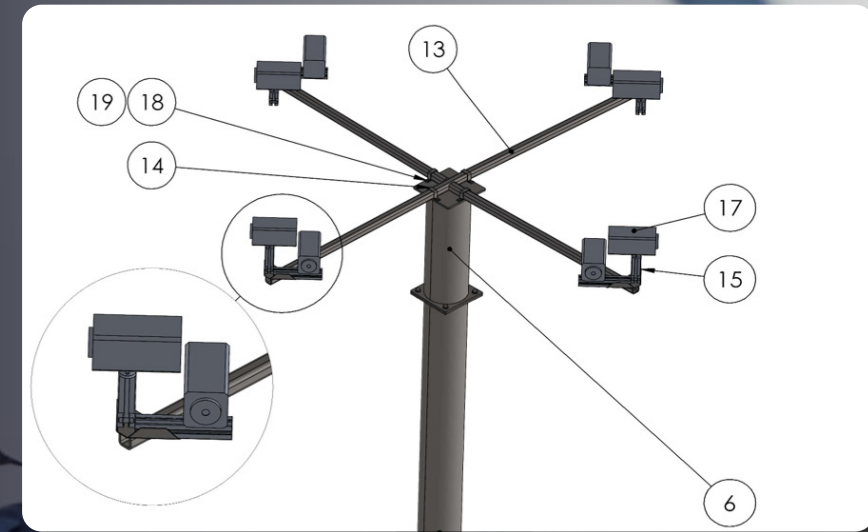


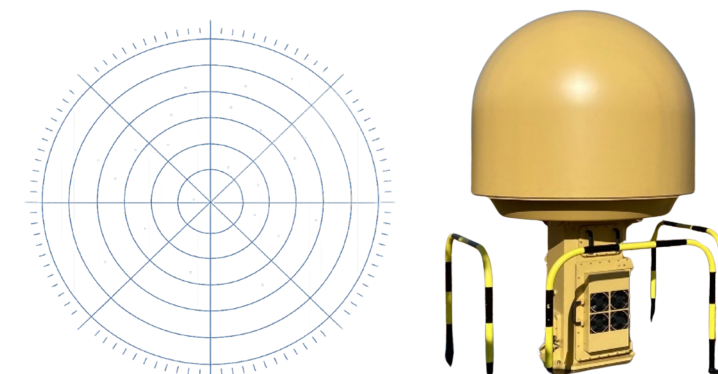
# Componentes clave



solute

- 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.





# Fundamentos de geometría epipolar

solute

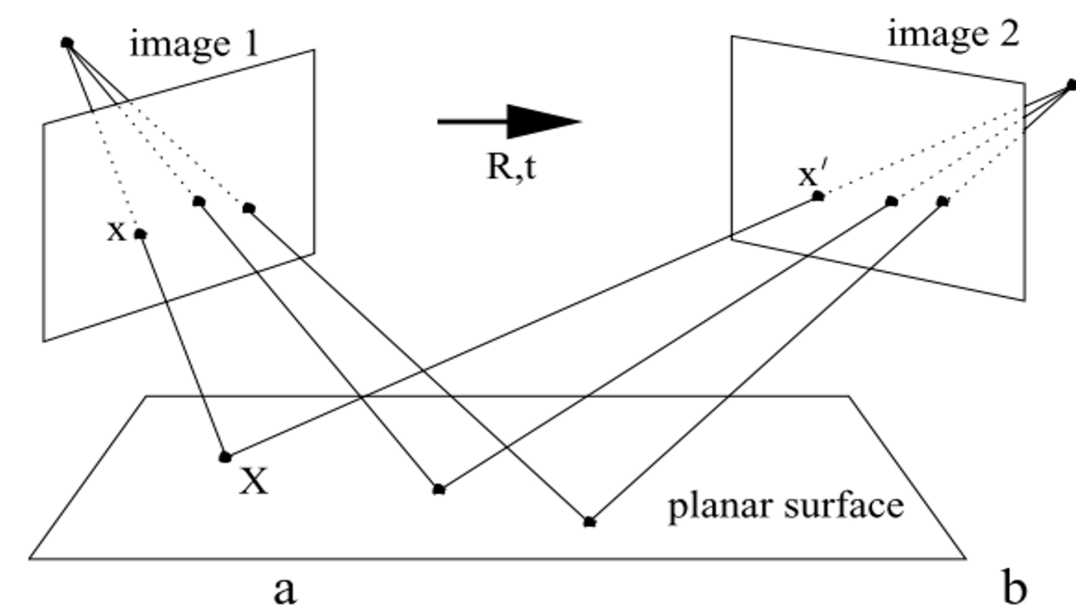
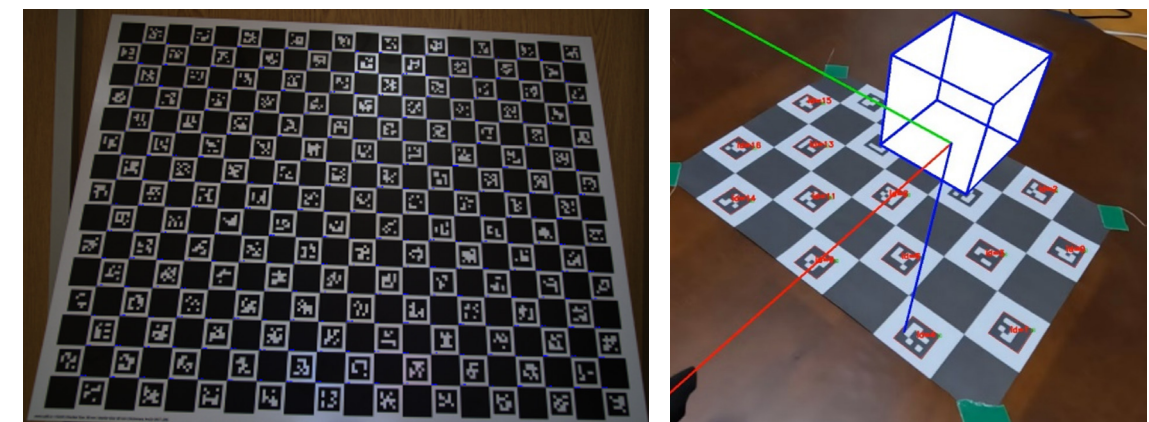
Cada cámara proyecta la escena 3D en un plano 2D. La posición de un objeto en la imagen depende de su distancia focal y la distancia real al sensor.

## 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  $\propto f$

**Resolución  
angular**

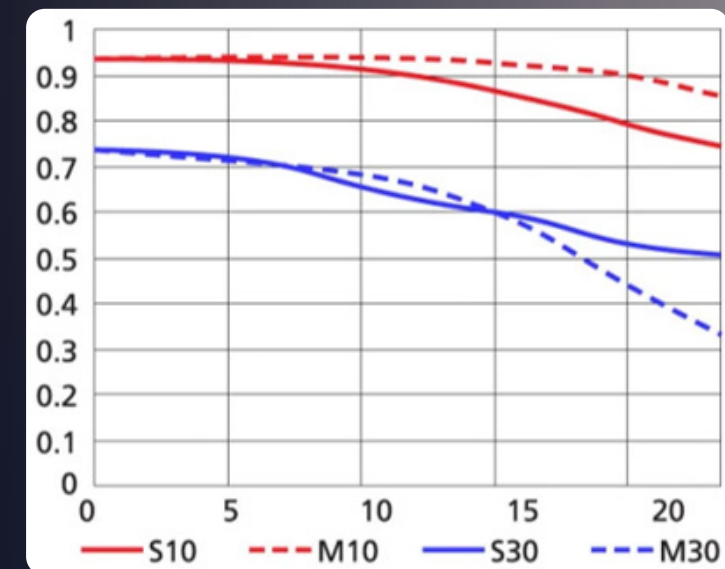
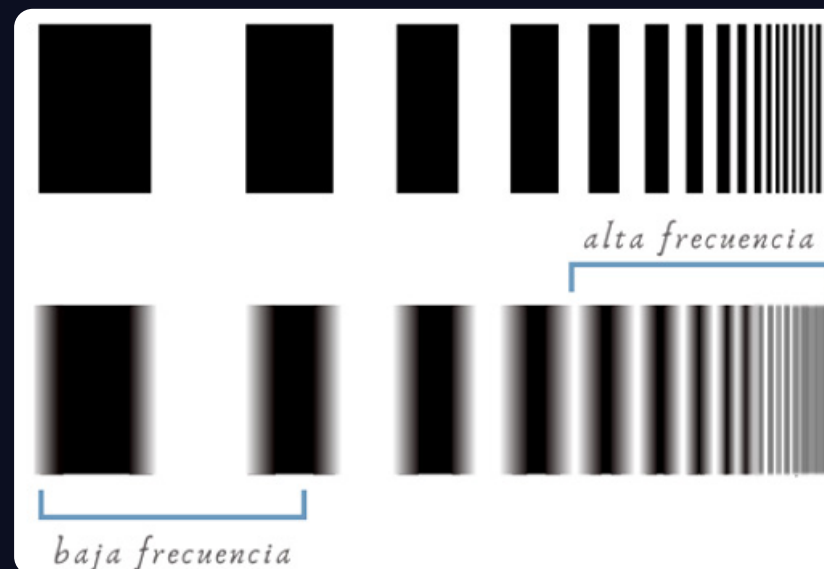
$$\frac{px}{deg} \approx \frac{resolution}{FOV}$$

$$4K + FOV 90^\circ = 42.7 \text{ px}/^\circ$$

$$4K + FOV 25^\circ = 153.6 \text{ px}/^\circ$$

$$8K + FOV 90^\circ = 85.3 \text{ px}/^\circ$$

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





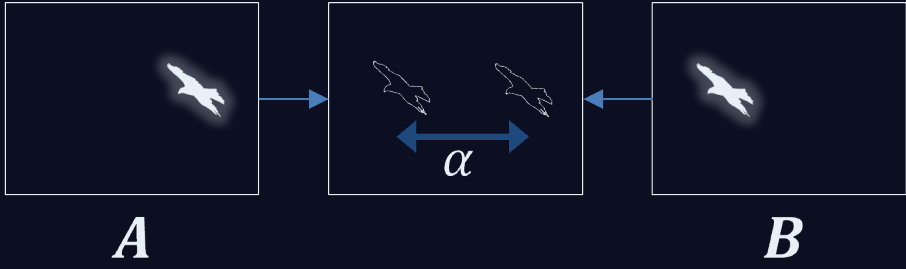
Error en la determinación de la distancia  
a un objeto

solute

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

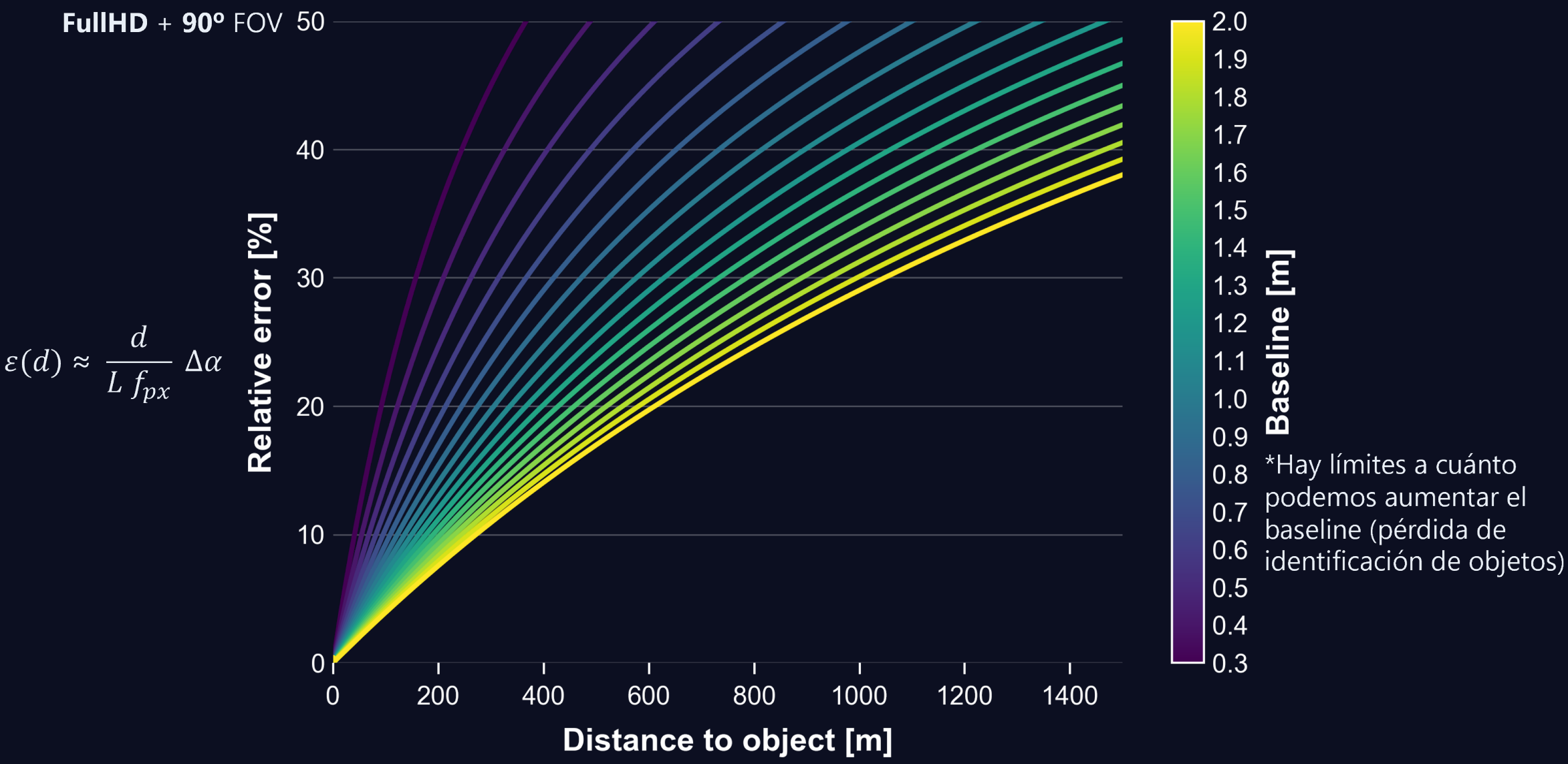
$\Delta \alpha$  = error típico de correspondencia / error disparidad

Inv. proporcional a la Resolución angular



**A** **B**

$\alpha$



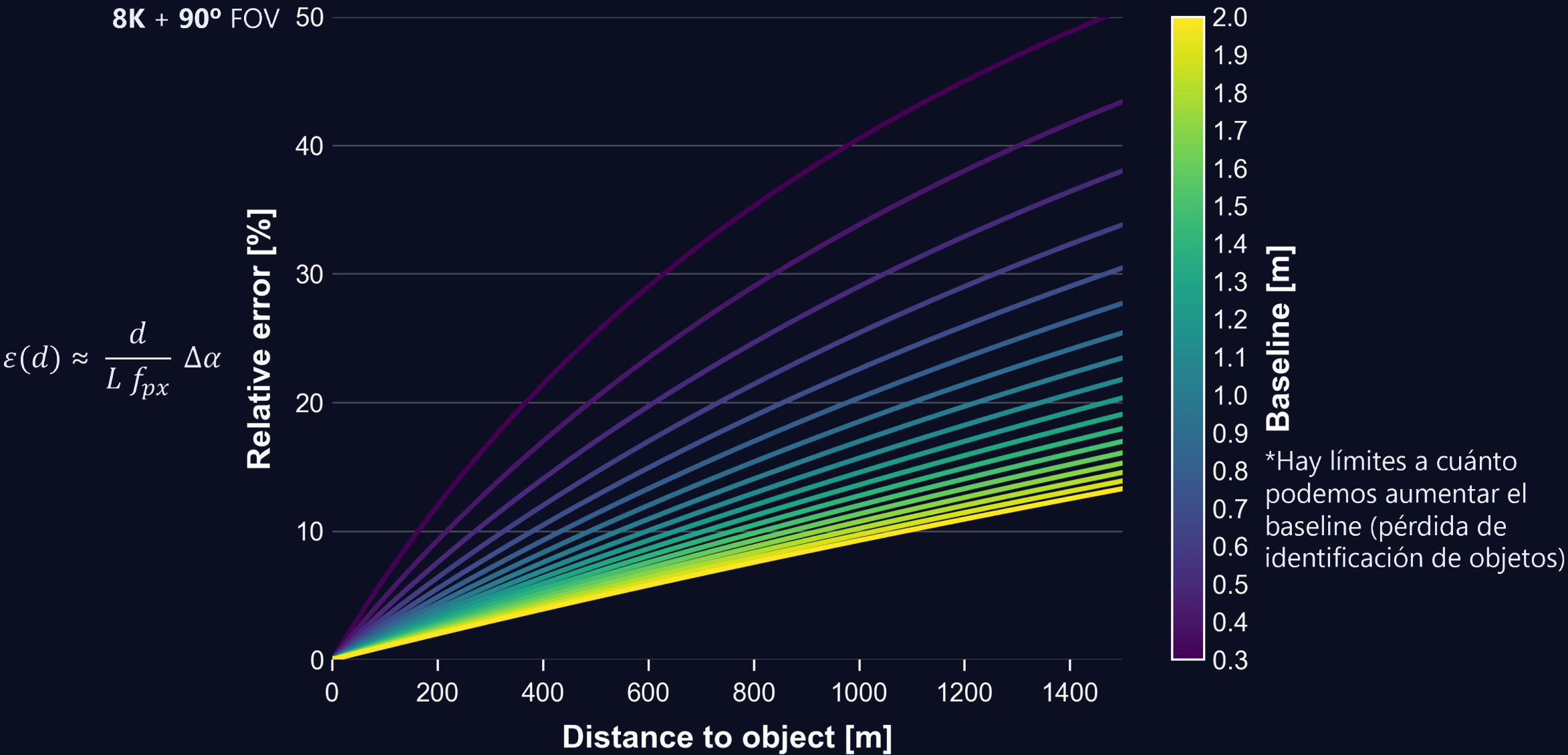
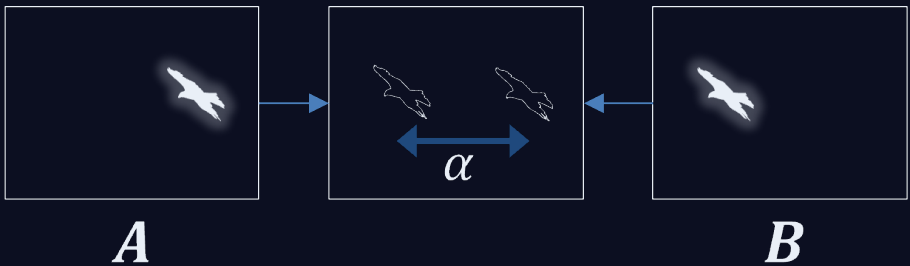
Error en la determinación de la distancia  
a un objeto

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

$\Delta \alpha$  = error típico de correspondencia / error disparidad



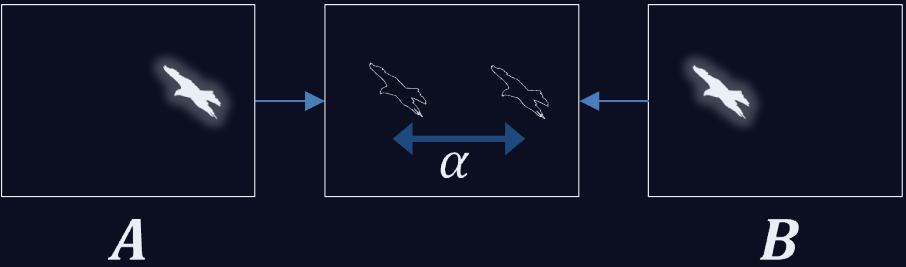
Error en la determinación de la distancia  
a un objeto

solute

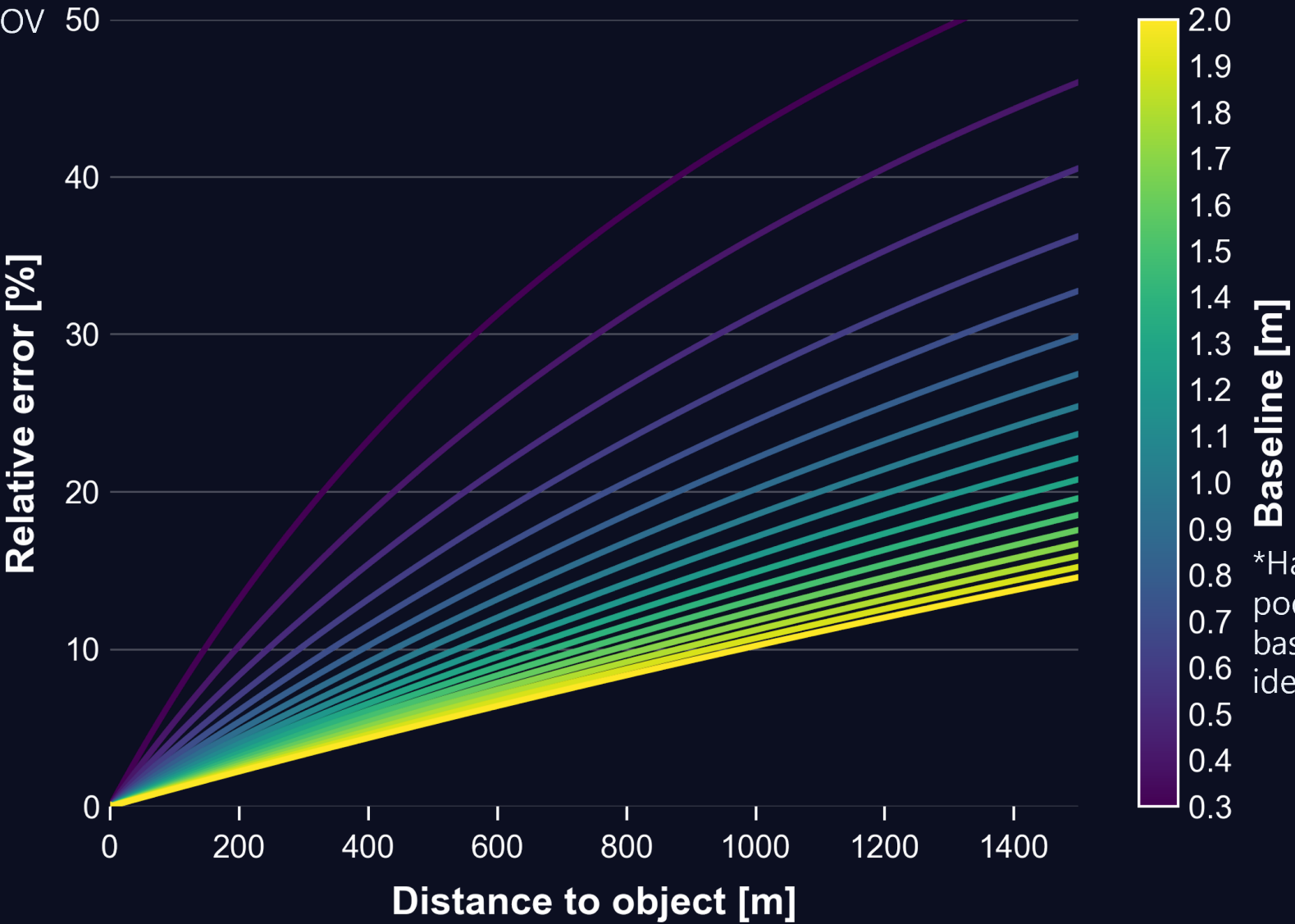
Cálculo del error "para andar por casa":  $\Delta d \approx \frac{d^2}{L f_{px}} \Delta \alpha$

Inv. proporcional a la  
Resolución angular

$\Delta \alpha$  = error típico de correspondencia / error disparidad



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



\*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

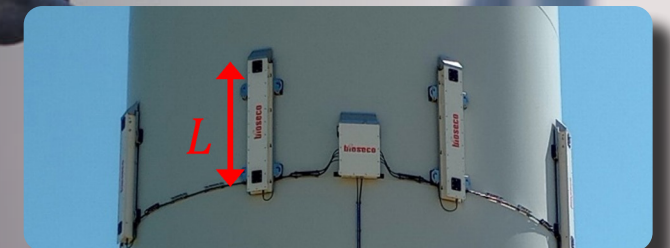


DTBird©

**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



Fondos  
Europeos

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

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

Consultas generales:  
[marketing@solute.es](mailto:marketing@solute.es)



[solute.es](http://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**