

# Applications of non-standard computer vision techniques for advanced quality control of fruit in postharvest

**Dr. José Blasco Ivars**

**WWW.IVIA.ES**

**WWW.COFILAB.COM**

*Centro de Agroingeniería. Área de Visión Artificial y Espectrometría*

---

*Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)*

# Estructura

---

- Visión por computador en poscosecha
- Imagen estándar
- Imagen no estándar
  - RMI
  - Rayos X
  - Tendencia actual: sistemas hiperespectrales
    - espectroscopia
    - Imagen hiperespectral
    - A tener en cuenta
    - Aplicaciones
    - Ejemplos
- Consideraciones finales

---

# Visión por computador en posocsecha



# Introducción

---

- La visión por computador o visión artificial es el **conjunto de herramientas y métodos que permiten obtener, procesar y analizar imágenes del mundo real** que puedan ser tratadas por un ordenador.

AUTOMATIZACIÓN

## AUTOMATIZACIÓN

Estrés hídrico

Inspección  
posrecosecha



de cosecha

ENERGÍA

ria

# Introducción

---

- ❑ Consumidor esta cada vez más informado y es más exigente
- ❑ Dispuesto a pagar un mayor precio por más calidad
- ❑ Dispuesto a repetir la compra: satisfacción



# Introducción

---

## ❑ Satisfacer al consumidor

- Buena apariencia (peso, tamaño, forma, color)
- Lotes homogéneos
- Producto seguro
- Calidad interna
- Propiedades organolépticas
- Buen precio



## ❑ Existen muchas formas de conseguir un producto que se adapte a las necesidades del consumidor

## ❑ Una de ellas es realizando una cuidada inspección de producto en posocosecha

# Introducción

---

- ❑ La inspección se debe hacer a un coste razonable y de forma que asegure la calidad del lote
  
- ❑ Competitividad:
  - Maximizar beneficios
  - Reducir costes
  - Garantizar calidad y sanidad
  - Convencer al consumidor ofreciendo el mejor producto
  
- ❑ Tecnología juega a favor de la industria y el consumidor:  
visión manual vs. Visión por computador



# Introducción

---

- ❑ Los sistemas de inspección de producto industrial son relativamente sencillos:

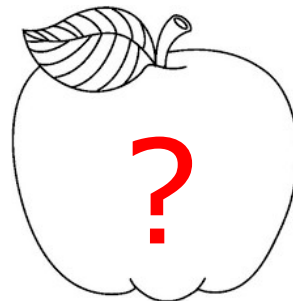


- ❑ El caso de los productos biológicos es diferente:

- Colores y formas diferentes, presencia de defectos de distinta naturaleza

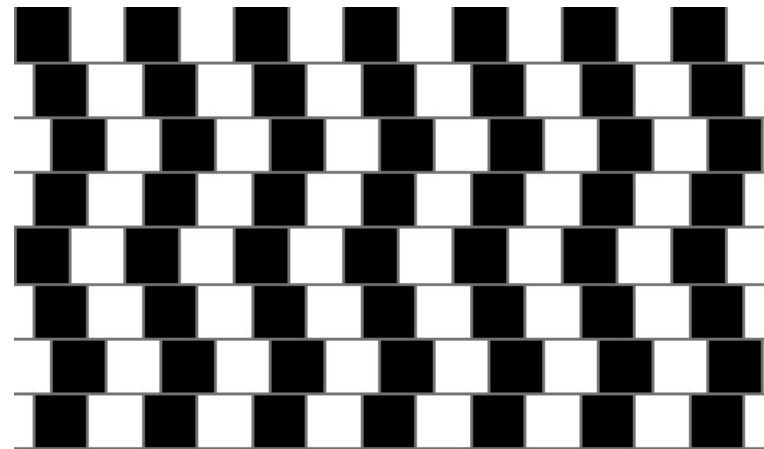
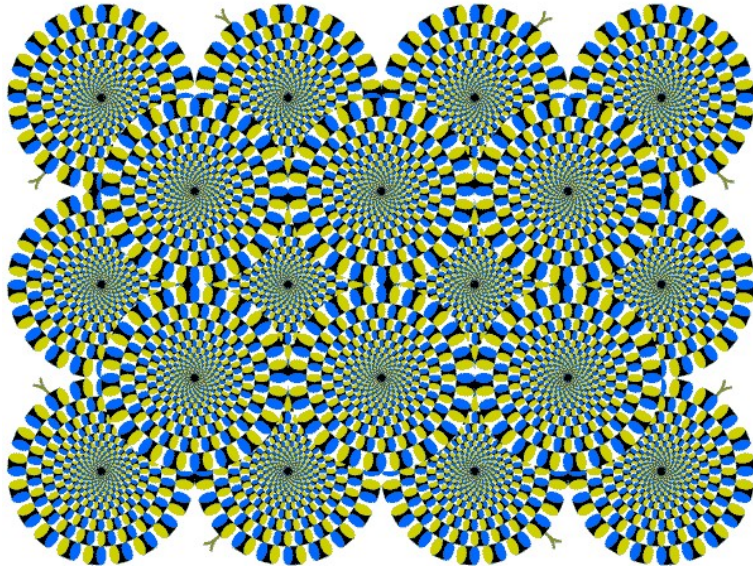


- Evolución poscosecha, calidad interna, propiedades organolépticas



# Introducción

---

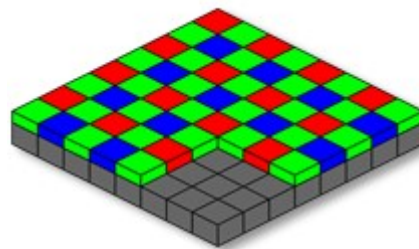
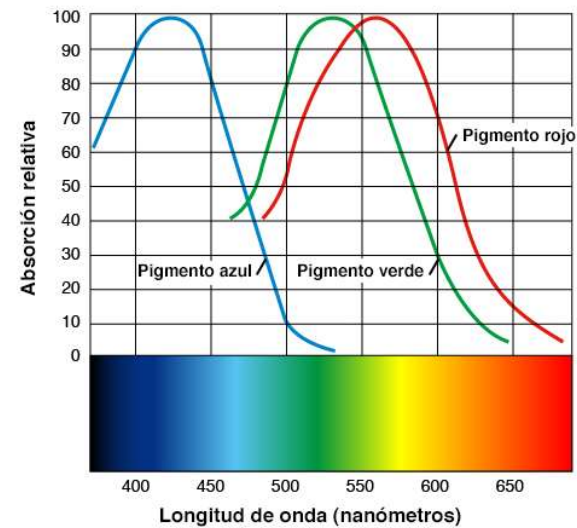
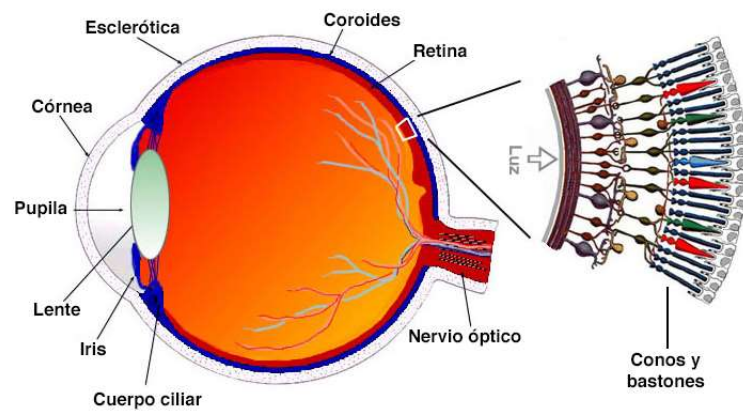


---

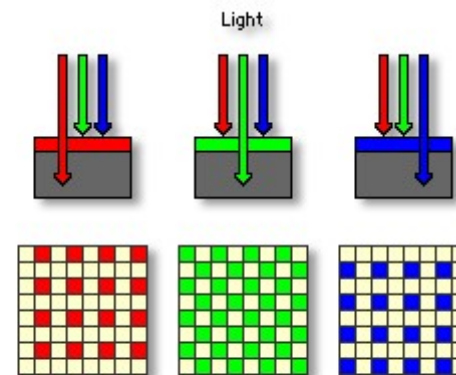
# Imagen estandar



# Imagen estándar



Color Filter Array Sensor



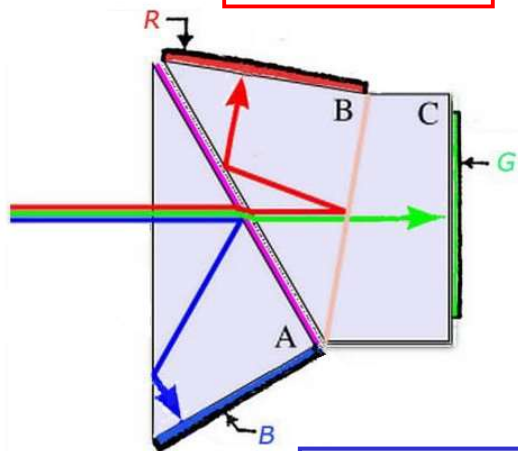
© 2003 Vincent Bockaert 123di

# Imagen estándar

---



620 nm



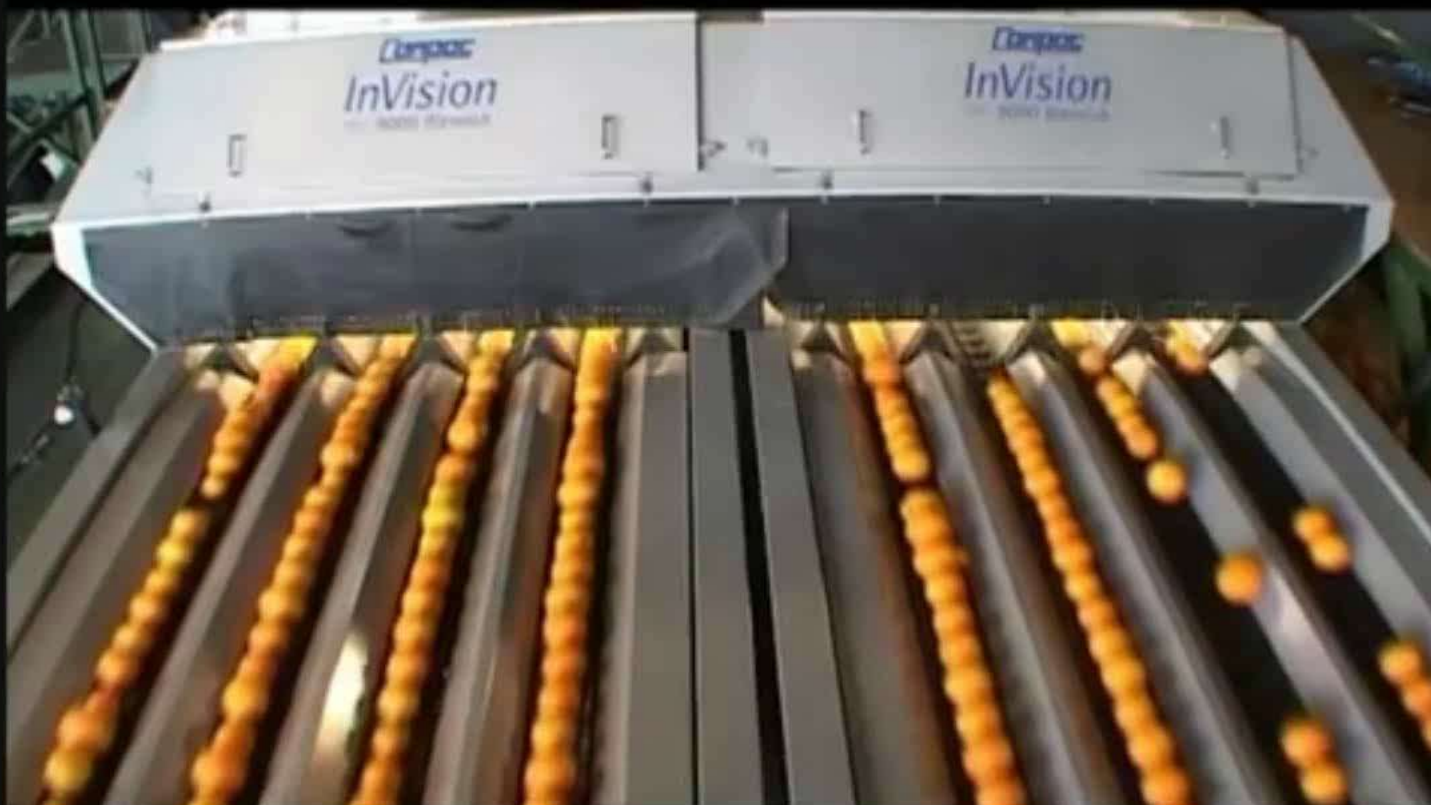
520 nm



460 nm

## Imagen estándar

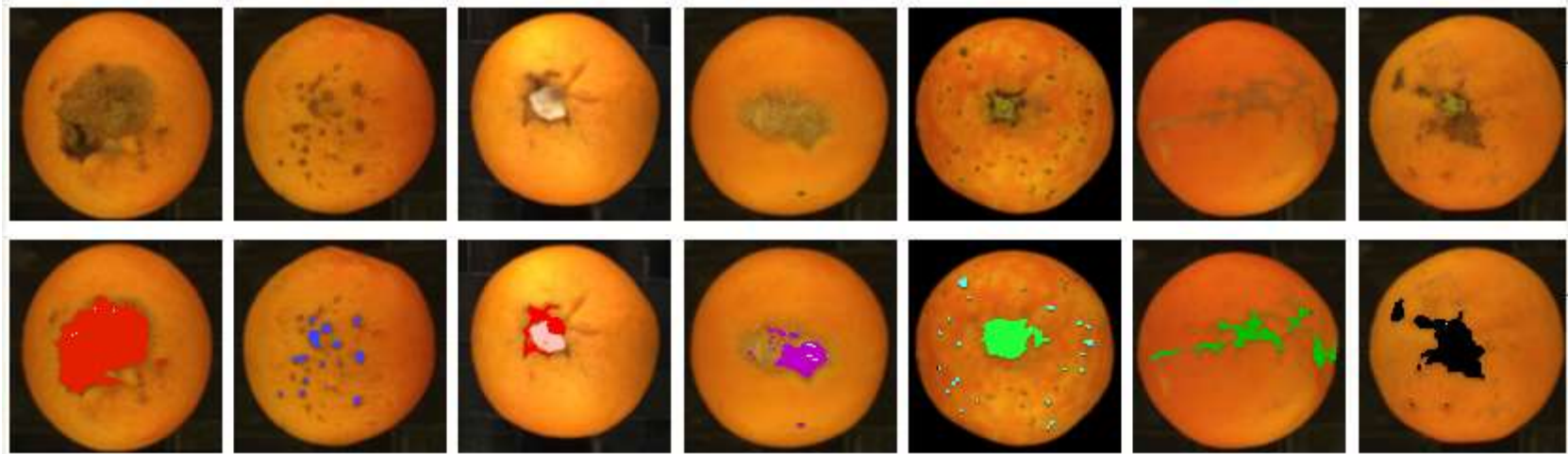
---



## Imagen estándar

---

- Al igual que el ojo humano, las cámaras estándar solo pueden ver el exterior



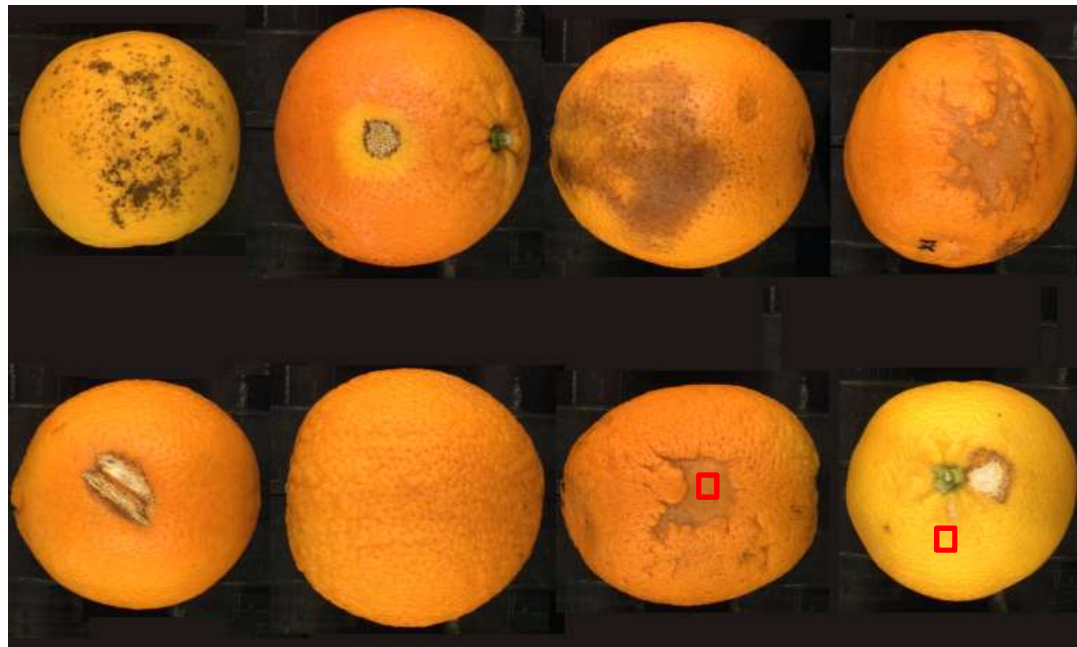
## Productos biológicos

### ❑ Objetos iguales:

- Diferente color
- Diferente forma
- Diferente textura

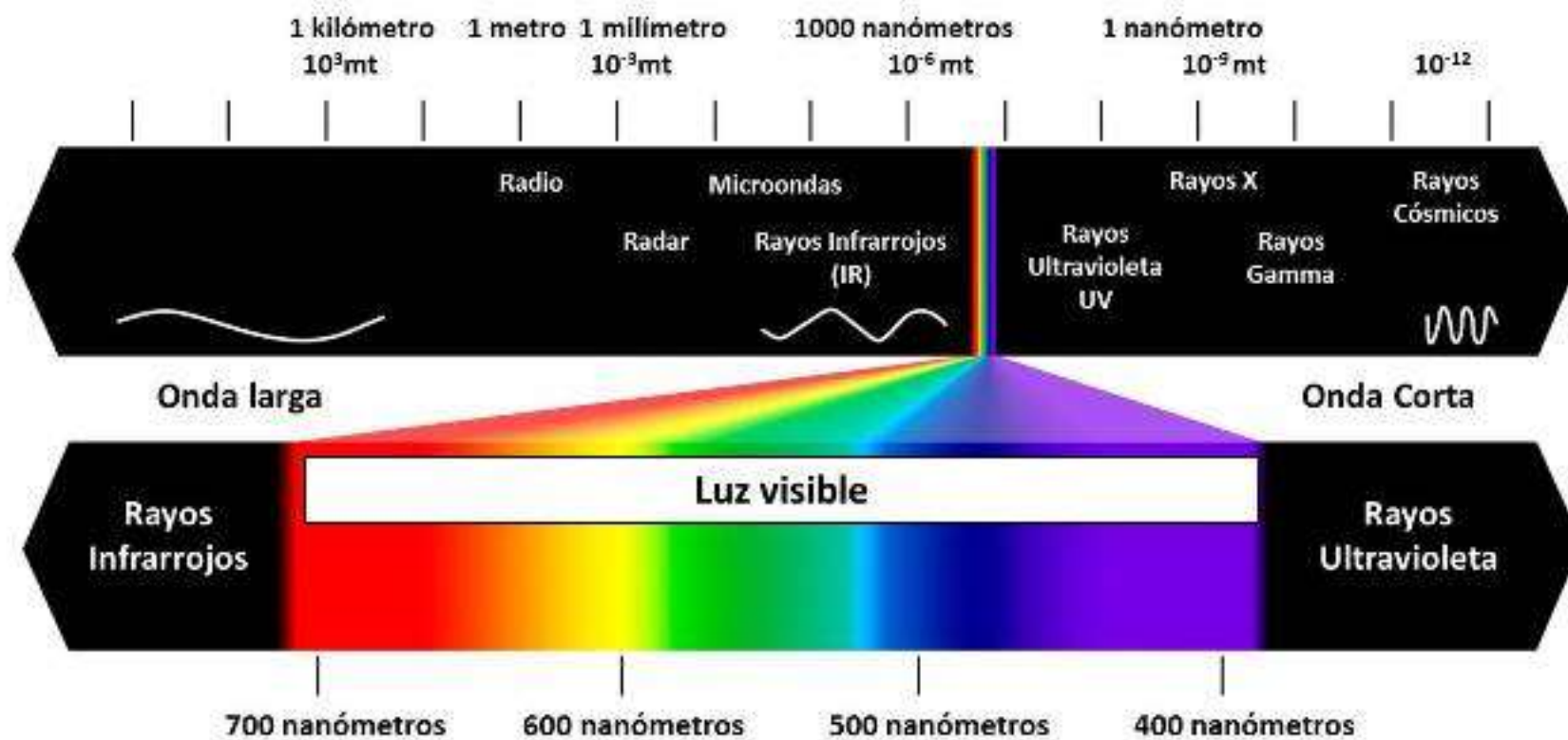
### ❑ Objetos diferentes:

- Mismo color
- Misma forma
- Misma textura



# Imagen estándar

- Las cámaras estándar imitan al ojo humano, pero hay más



---

# Imagen no estandar



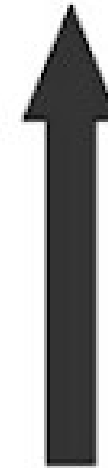
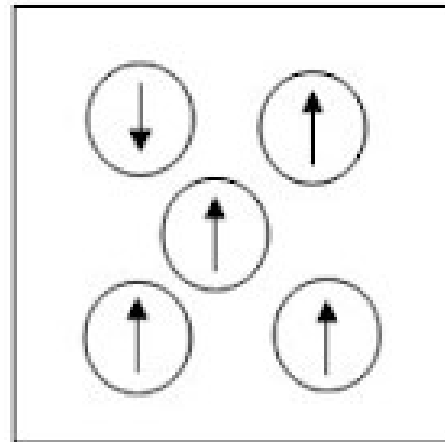
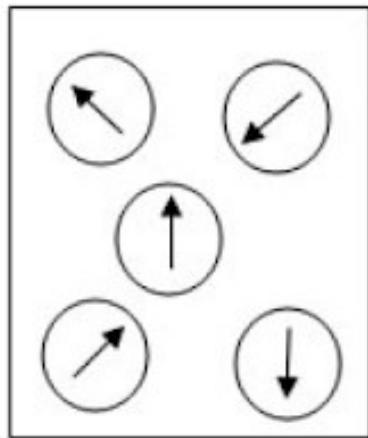
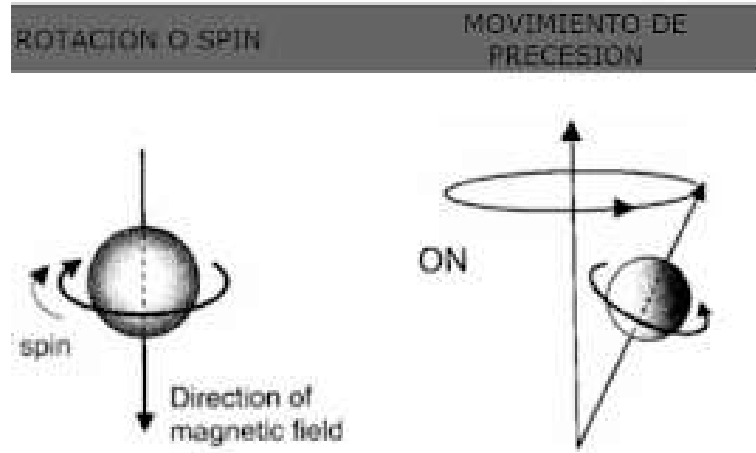
# Imagen no estándar

---

- Existen muchas maneras de obtener una imagen
  - Cámara fotográfica
  - Cámara industrial
  - Escáner
  - **Resonancia Magnética**
  - **Imagen hiperespectral**
  - **Rayos X**
  - **Termografía**
  - Rayos T
  - Radar
  - Ecografía

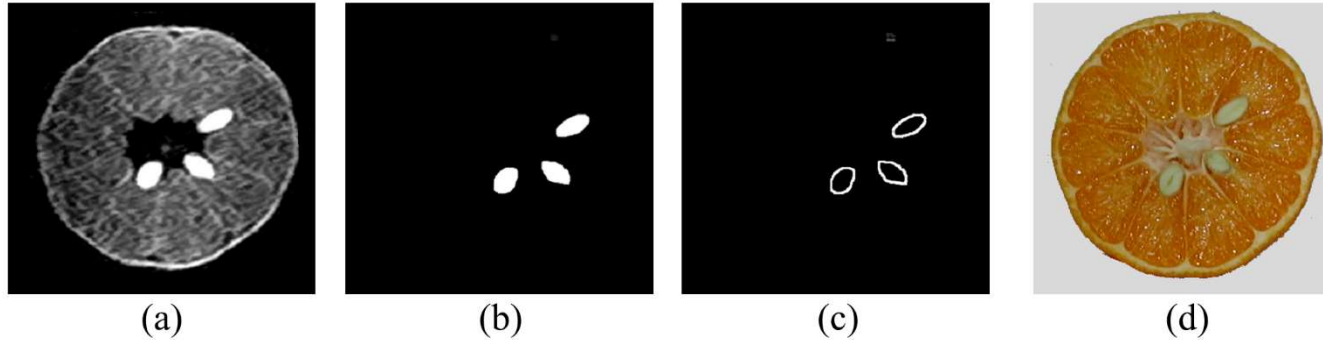
Queremos ver lo invisible

# Resonancia magnética de imagen



# Resonancia magnética de imagen

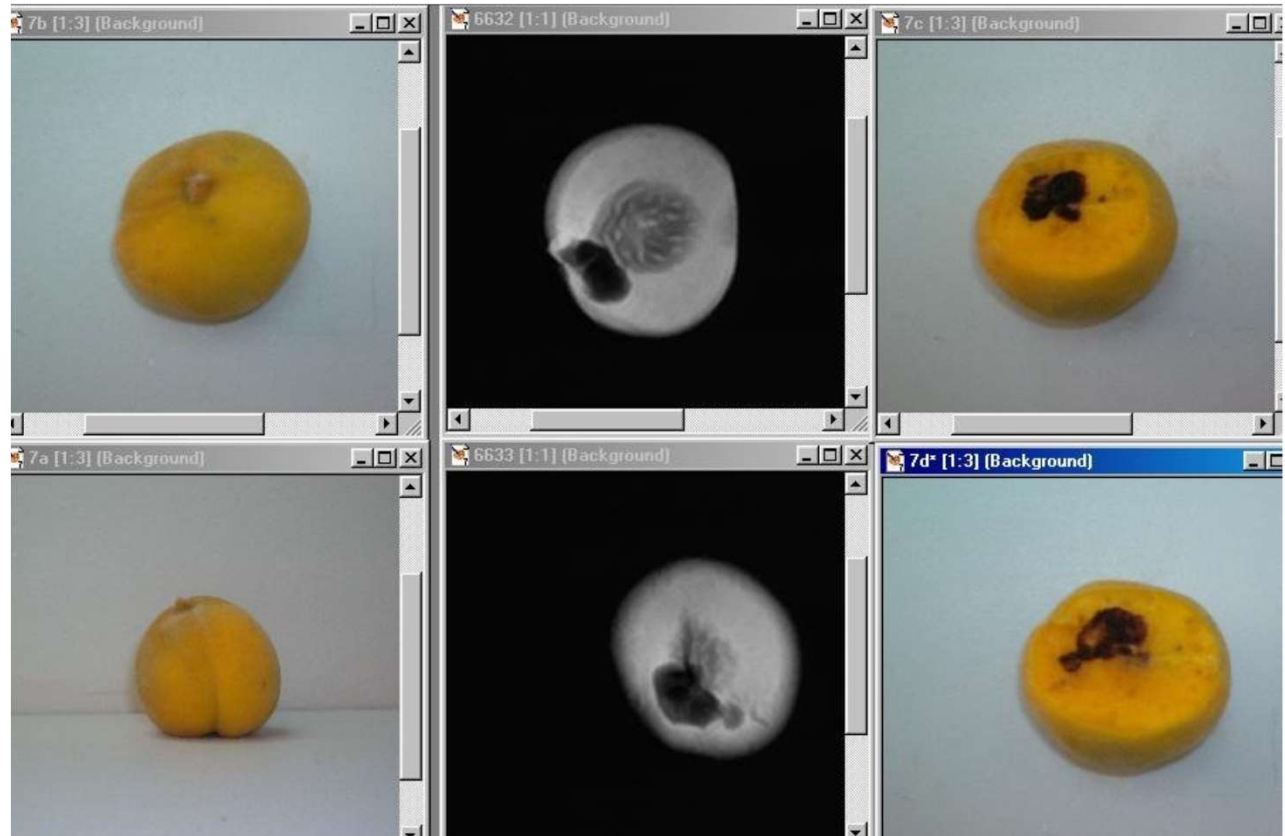
---



- Permite ver el interior de los objetos con detalle
- Diferenciar tejidos de composición diferente
- Precisión en composición y calidad interna
- No admite partes metálicas
- Tecnología inmadura en agricultura
- Precio elevado
- Gran potencial

# Resonancia magnética de imagen

---



# Rayos X

RAYOS X

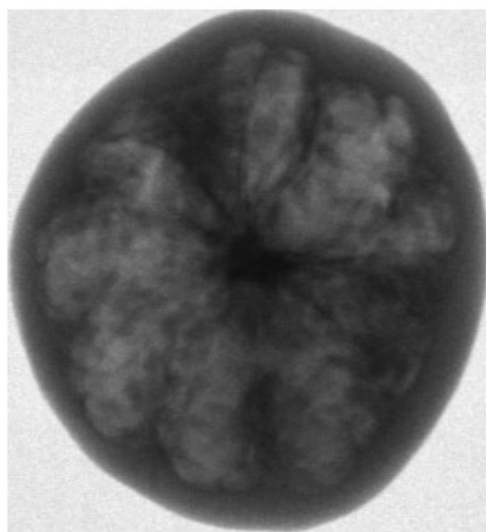
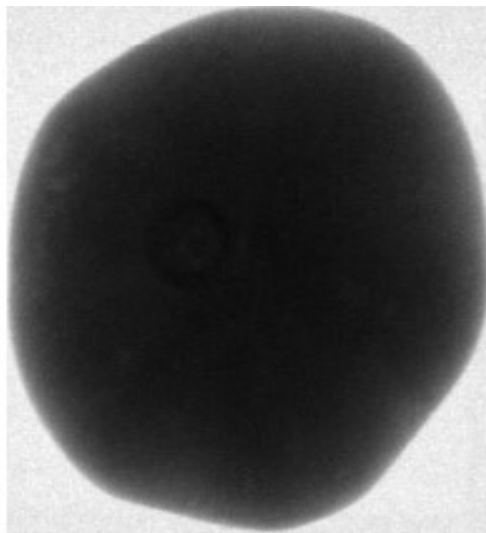
- CUERPOS EXTRAÑOS EN PIEZAS DE CARNE
- CUERPOS EXTRAÑOS CARNE ENVASADA
- CUERPOS EXTRAÑOS EN CAÓTICO
- ESTIMACIÓN DE PESO
- CONTAJE INDIVIDUAL DE UNIDADES
- MEDICIÓN DE PORCENTAJE DE GRASA

X-RAY

- CUERPOS EXTRAÑOS, PIEDRAS, METALES, ETC
- CUERPOS EXTRAÑOS EN PRODUCTO A GRANEL
- CUERPOS EXTRAÑOS EN PRODUCTO ENVASADO
- CUERPOS EXTRAÑOS EN SACOS
- POSIBLE ESTIMACIÓN DE PESO
- CUERPOS EXTRAÑOS EN CAJAS Y CUBOS
- CUERPOS EXTRAÑOS EN ENVASES DE PLÁSTICO, CRISTAL Y LATAS
- ANÁLISIS POR ZONAS Y DISCRIMINACIÓN DE ANILLAS
- ESTIMACIÓN DE PESO
- NIVEL DE LLENADO
- POSIBLE INSPECCIÓN MULTICANAL

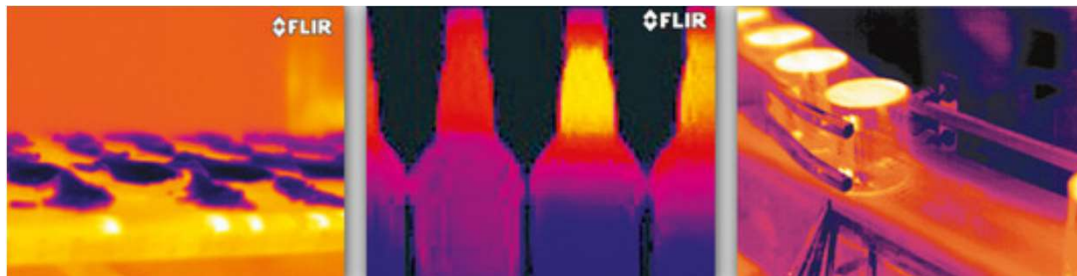
# Rayos X

---

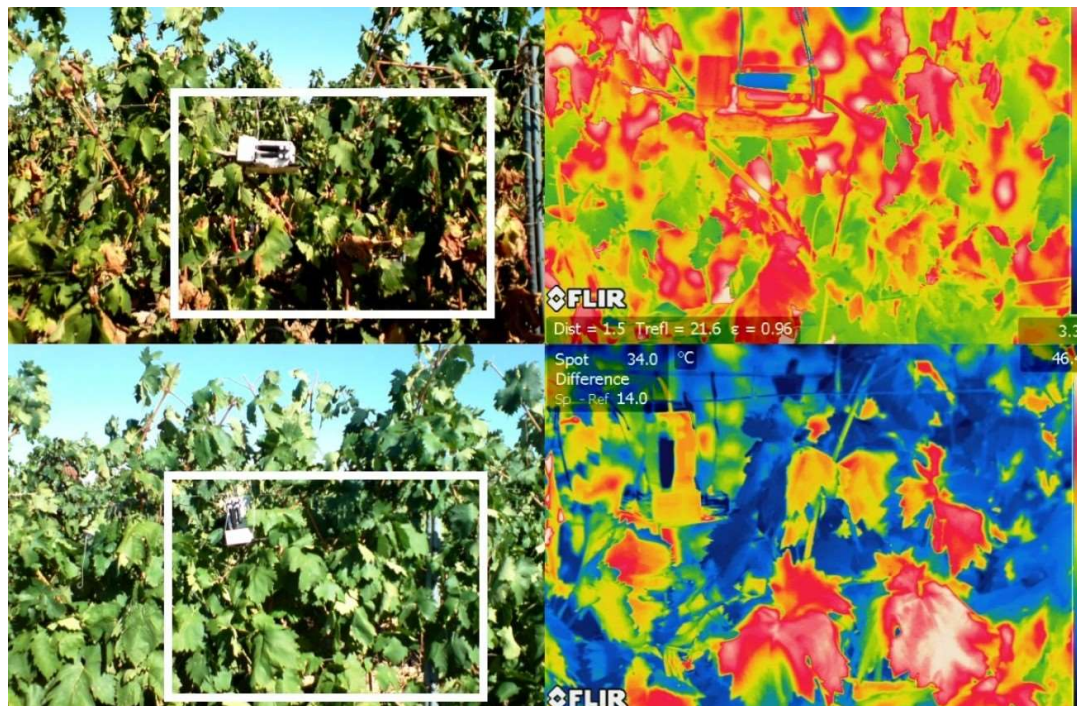


- Comercial
- Versátil
- Detección
- No composición
- Solo densidad

# Termografía



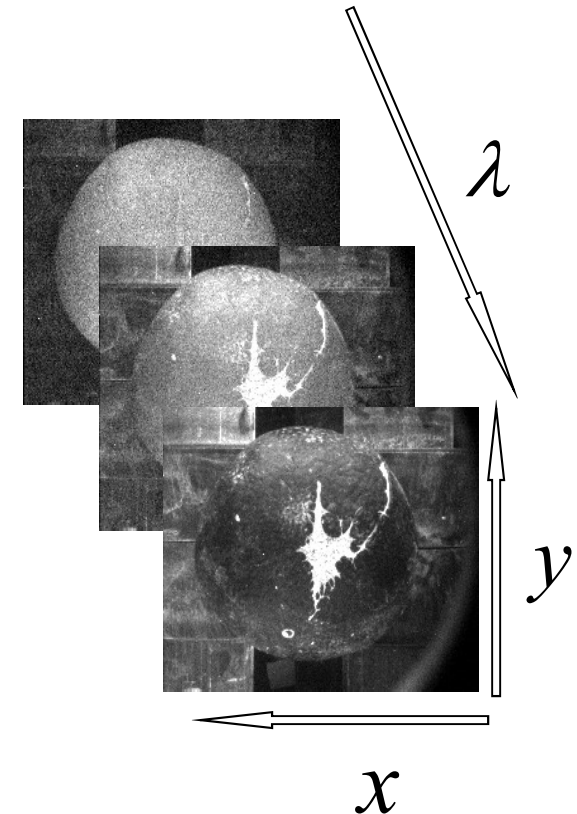
- ❑ Monitorizar procesos
- ❑ Más indicada en agricultura



# Imagen hiperespectral

---

- ❑ Sistemas hiperespectrales de visión por computador
  - Capturan un conjunto numeroso de imágenes en bandas consecutivas del espectro electromagnético
  - Se implementan mediante filtros interferenciales (Filtros de cristal liquido) o espectrógrafos de imagen
  - Estos sistemas ofrecen información espacial de la escena, así como amplia información espectral



---

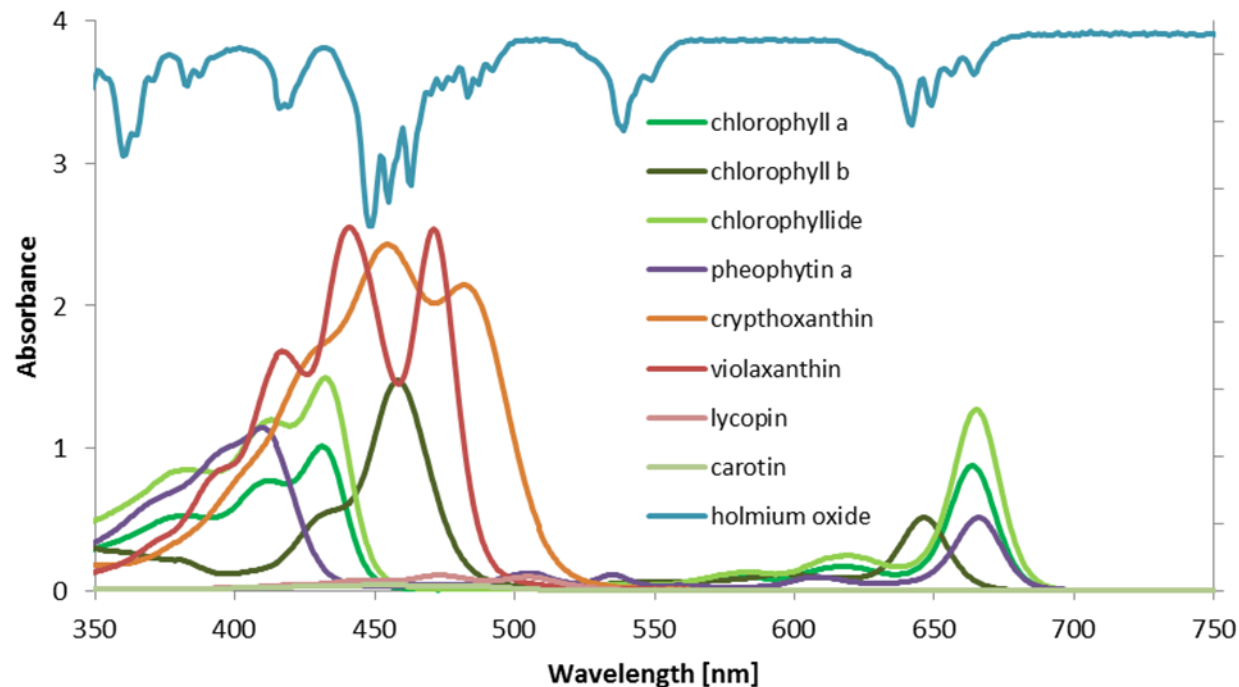
# Espectroscopia



# Espectroscopia

---

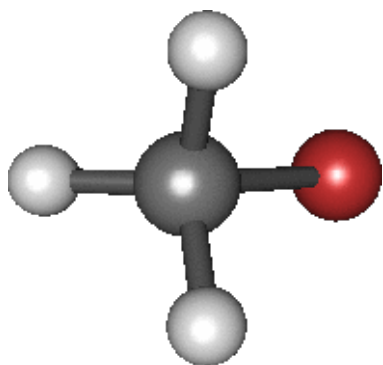
- ❑ La energía a ciertas longitudes de ondas se refleja o absorbe de forma diferente
- ❑ En el espectro visible se aprecian diferencias de color
- ❑ En el espectro NIR se detecta composición (contenido en azúcar o acidez, grasa, agua, taninos, licopenos, etc...)



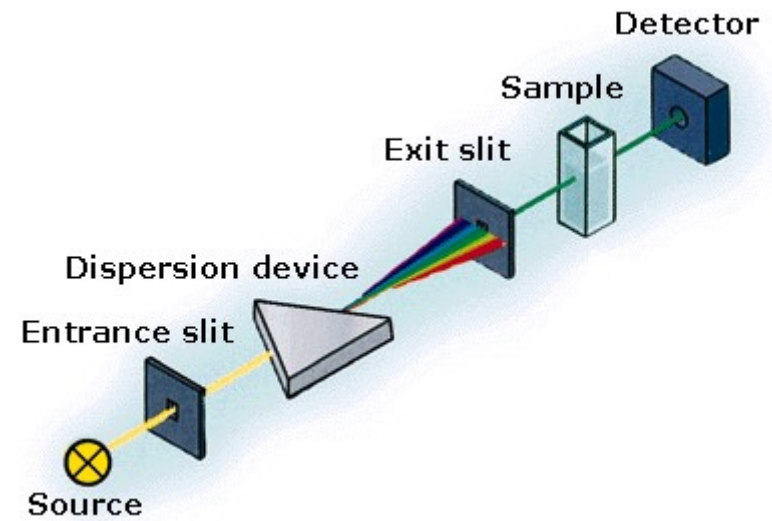
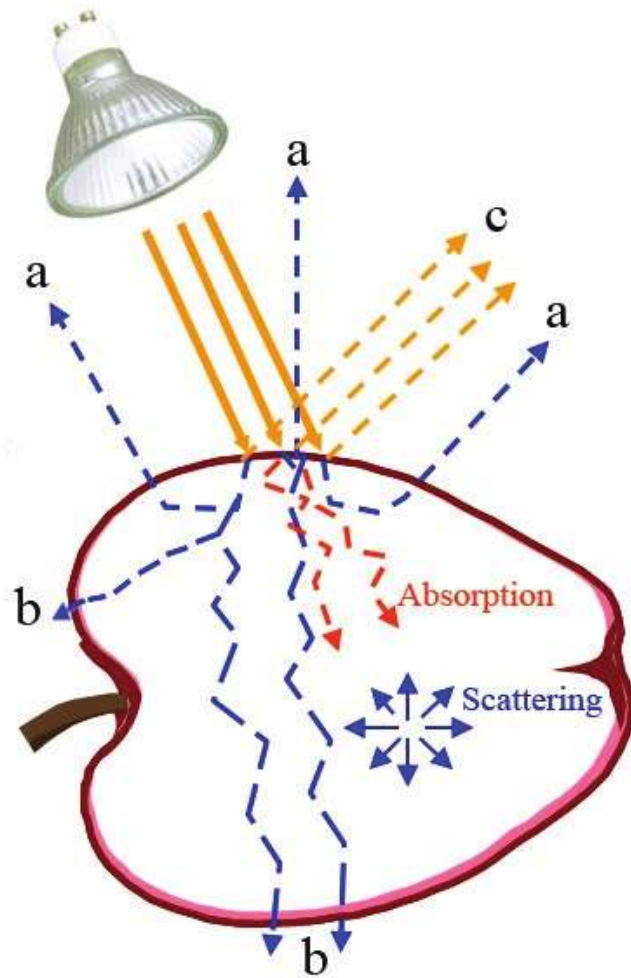
# Introducción

---

- ❑ Espectroscopía visible (400 - 750 nm): involucra transiciones de los electrones de unos niveles atómicos a otros: absorción o emisión de luz del nivel de energía correspondiente (longitudes de onda).
- ❑ Espectroscopia NIR (750 - 2500 nm): implica la medición de la absorción de luz asociada con la vibración de los enlaces moleculares. En la evaluación de fruta, asociada con los enlaces O-H (840, 960 y 1440 nm) y C-H (910, 1100 y 1700 nm).



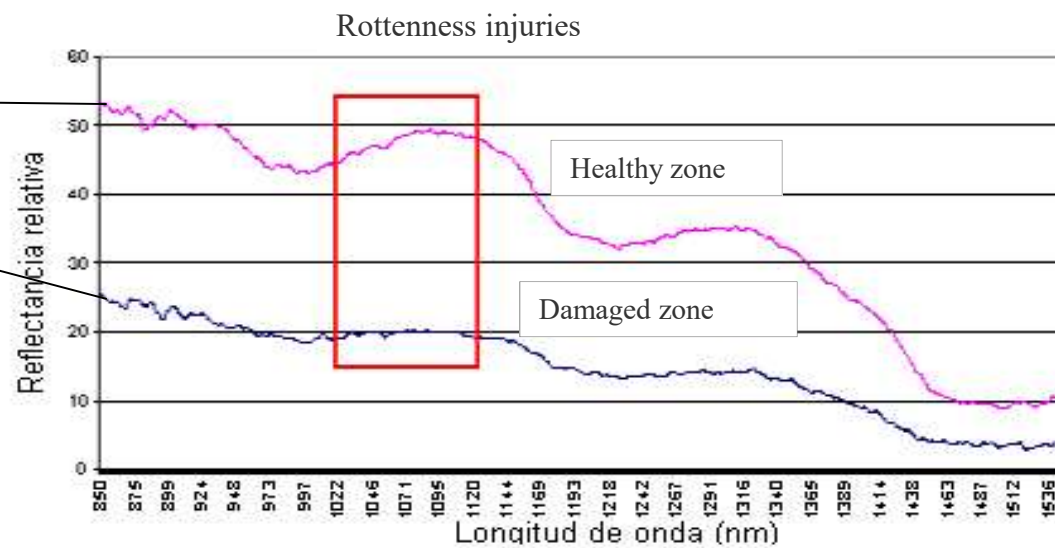
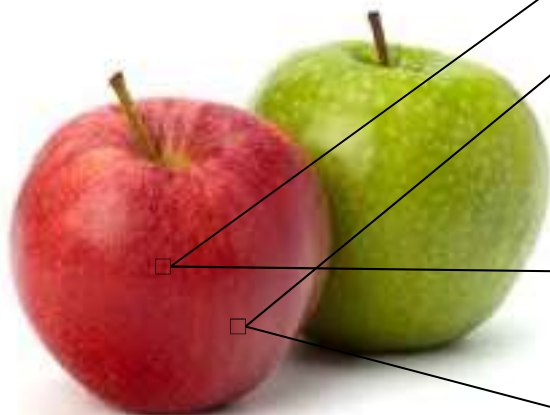
# Espectroscopia



# Espectroscopia

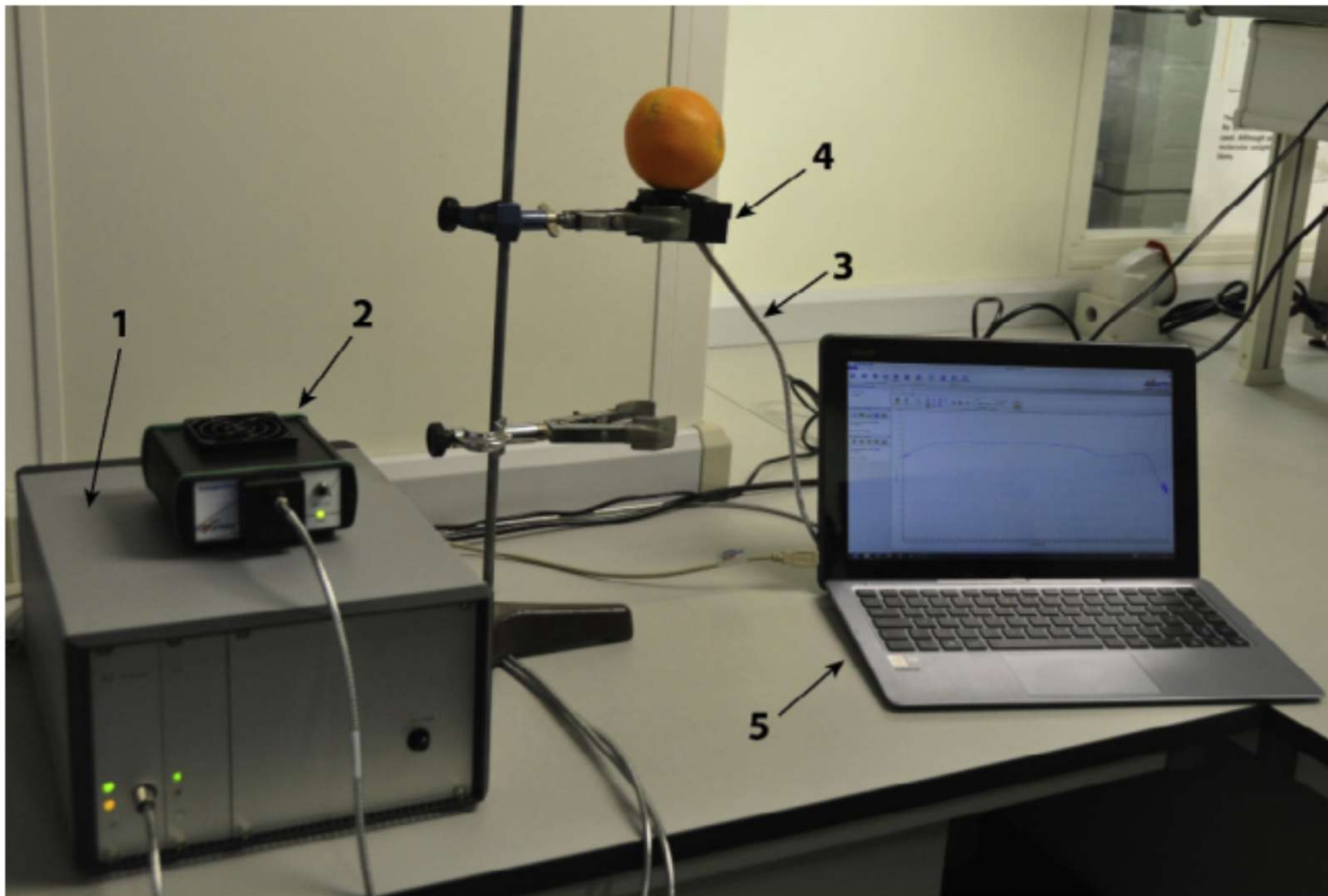
Image RGB (156, 42, 49)

Image RGB (156, 31, 32)



# Espectroscopia

---



**Fig. 2.** Picture of the spectroscopy system. 1: Spectrophotometer platform with two spectrophotometers; 2: light source; 3: reflectance probe; 4: sample holder; 5: computer with acquisition software.

---

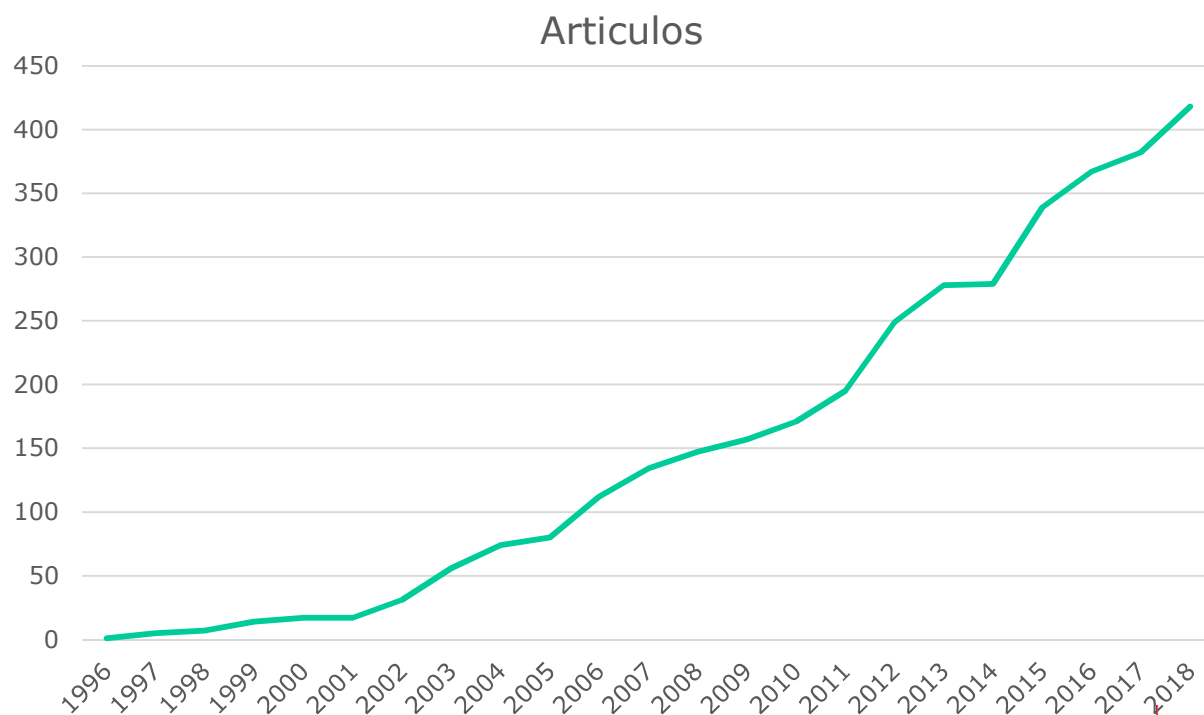
## Tendencia actual: imagen hiperpesectral



## Imagen hiperespectral

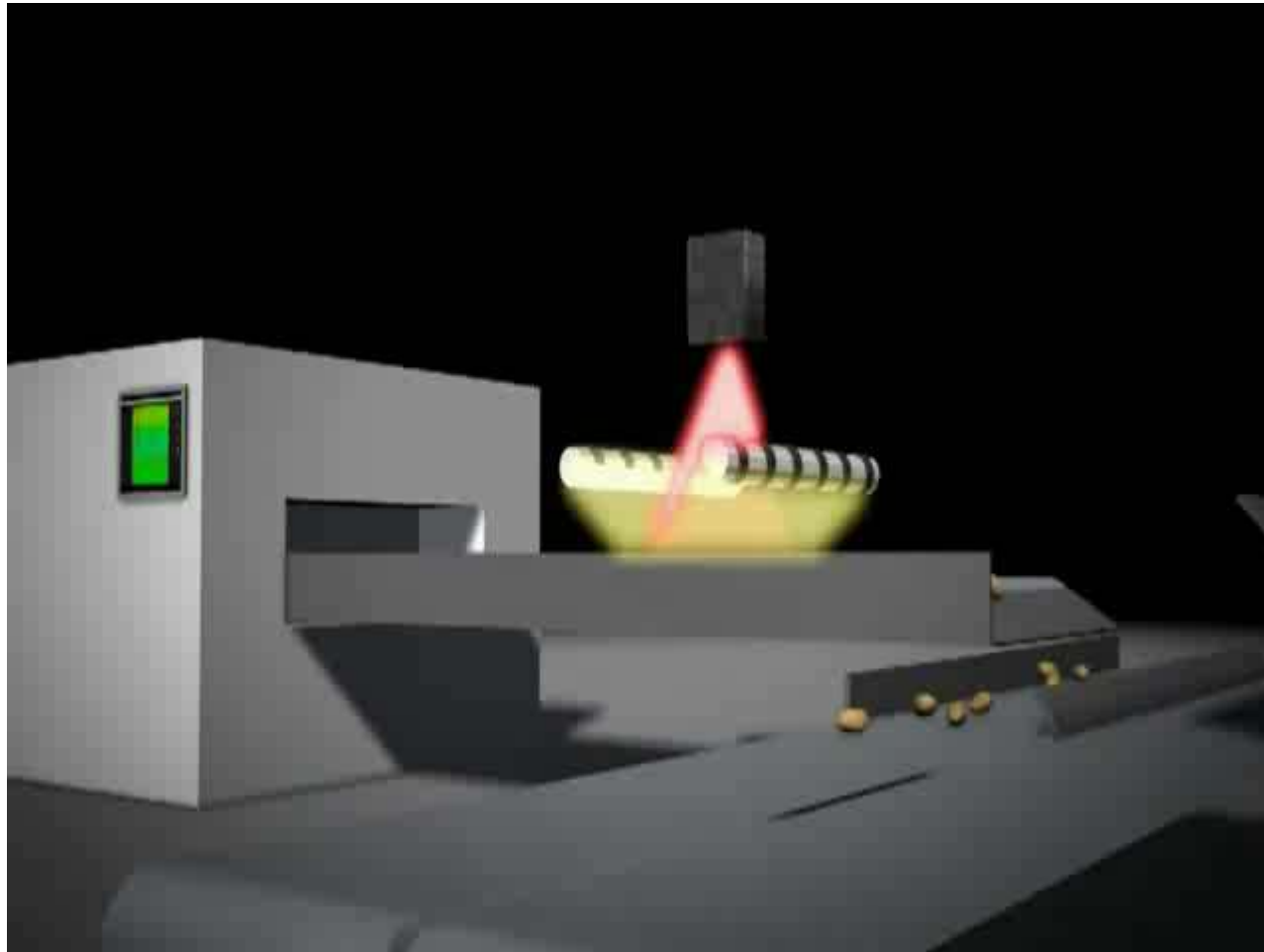
---

- ❑ El mercado de sistemas de imágenes hiperespectrales factura alrededor de 9.500 millones de dólares en todo el mundo, con la previsión de que la cifra alcance los 22.000 millones en 2025
- ❑ Ciencia: aumento constante de publicaciones relacionadas



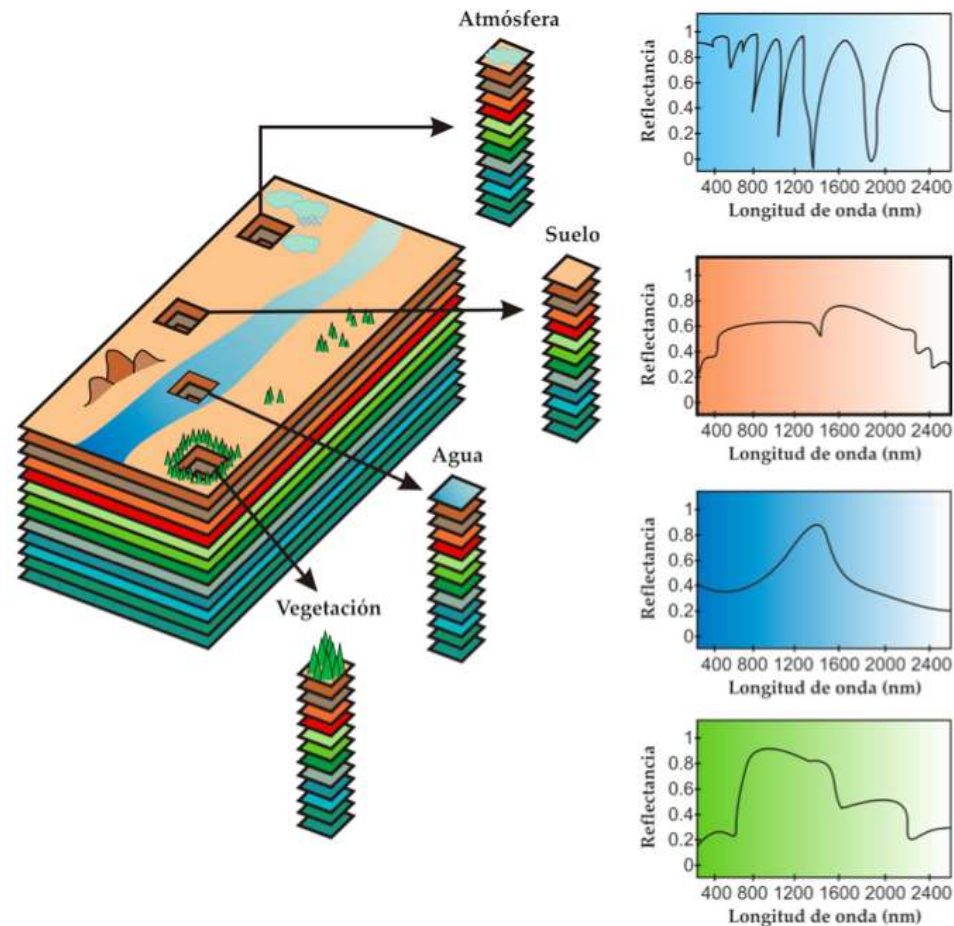
# Sistemas hiperespectrales

---



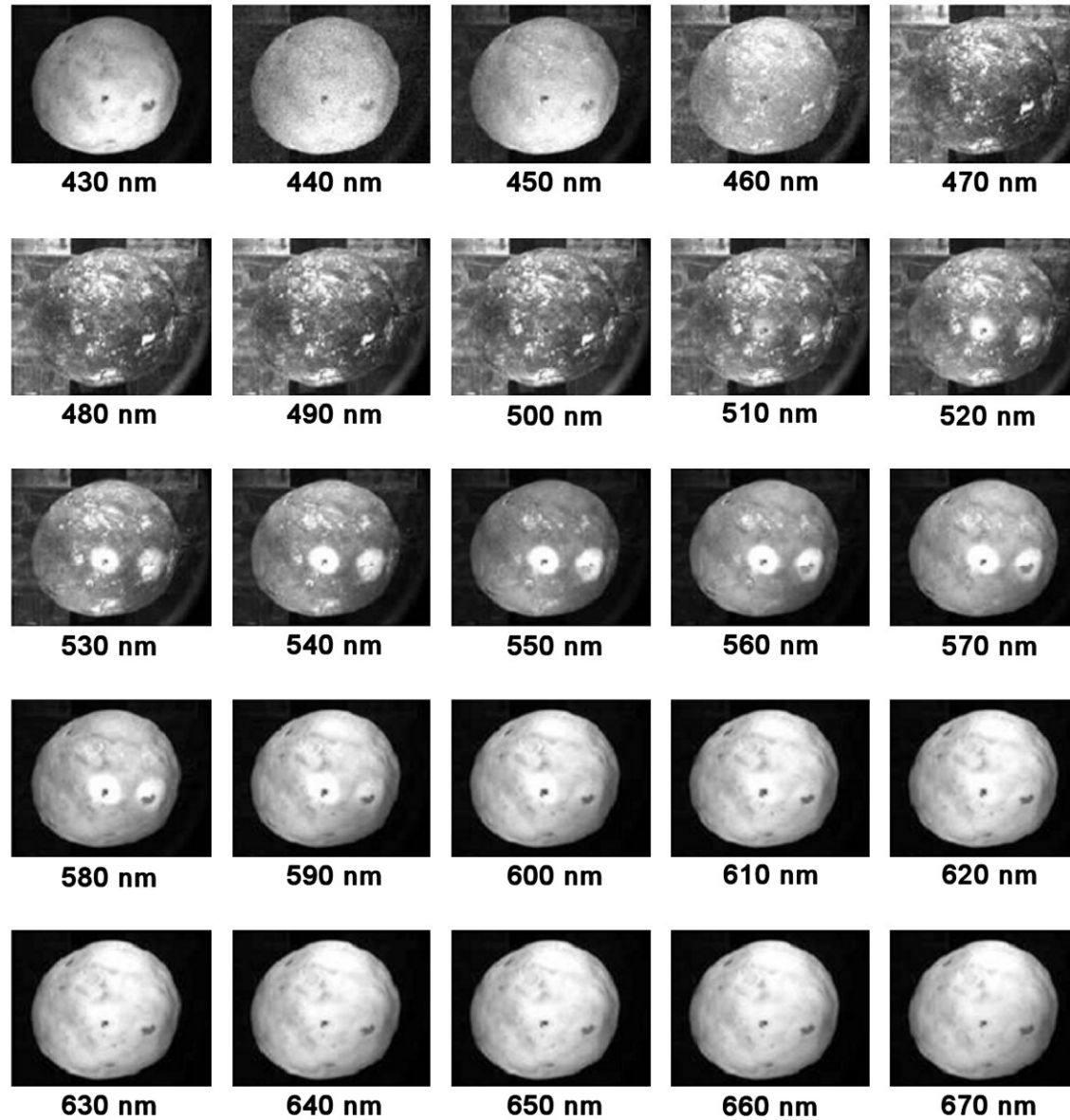
# Sistemas hiperespectrales

- La reflectancia de un pixel varía dependiendo de la longitud de onda con que se adquiere la información, obteniendo así un espectro característico para cada pixel



# Sistemas hiperespectrales

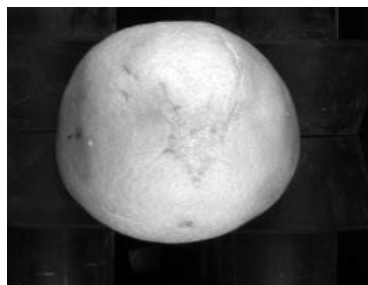
---



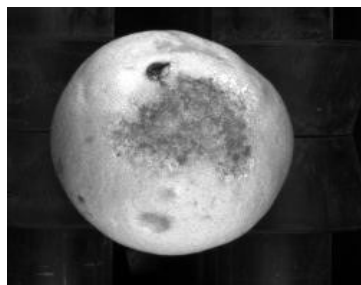
# Introducción

---

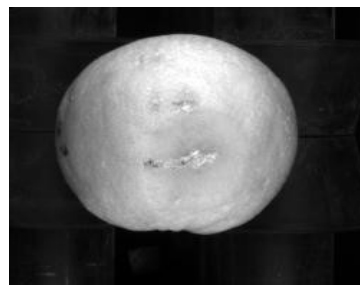
## Imágenes adquiridas en el visible



Trips



Antracnosis

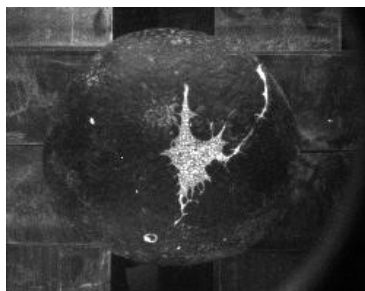


Podrido

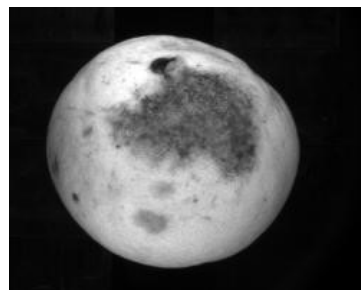


Oleocelosis

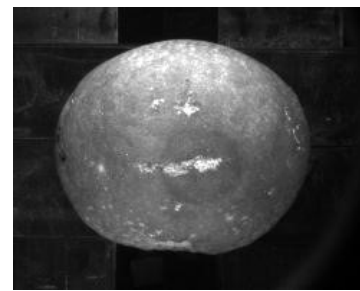
## Imágenes adquiridas en bandas específicas



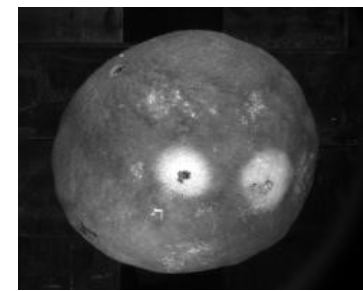
Trips (480 nm)



Antracnosis (630 nm)



Podrido (540 nm)



Oleocelosis ( 530 nm)

# Aplicaciones

---

## ❑ **Supervisión de cultivos:**

- La evolución natural de las plantas
- Diferentes enfermedades que atañen a los cultivos
- Daños causados por fenómenos meteorológicos como el granizo o el viento

## ❑ **Control de calidad en producción de alimentos procesados:**

- Controlar la calidad de diferentes alimentos como quesos y lácteos
- Detectar tumores en carne de diferentes especies
- Realizar un control de la calidad de la carne o pescado
- Medir la humedad y la grasa en productos de panadería y bollería industrial

## ❑ **Control de calidad en alimentos frescos:**

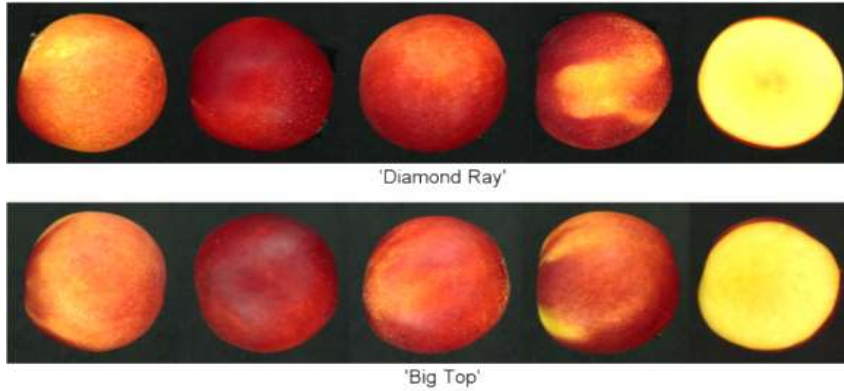
- Controlar la madurez de vegetales o de frutas.
- Detectar la podredumbre en cítricos
- Detectar defectos en frutas que no sean detectables en el espectro visible

## ❑ **Detección de materias extrañas:**

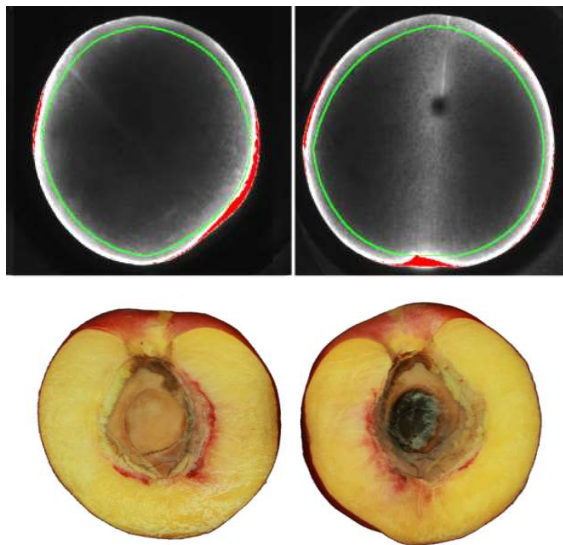
- Plásticos, insectos, cartón o metales en productos a granel como frutos secos, cereales, etc

# Aplicaciones

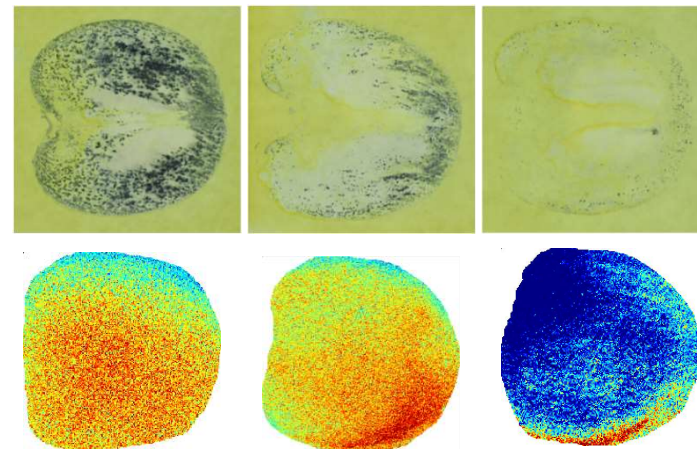
- Discriminación de variedades de nectarina: color 55% - hiperespectral 96%



- Detección de hueso partido



- Astringencia en caqui



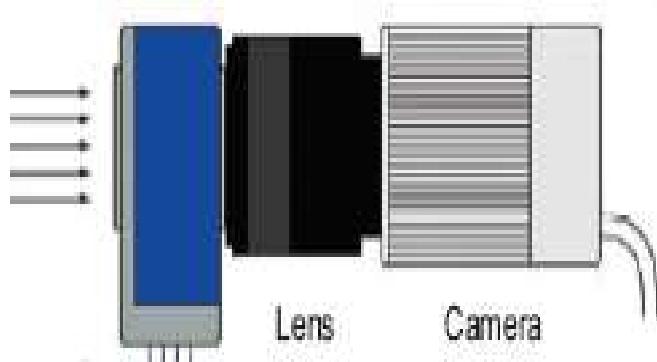
---

## A tener en cuenta



# Filtros sintonizables

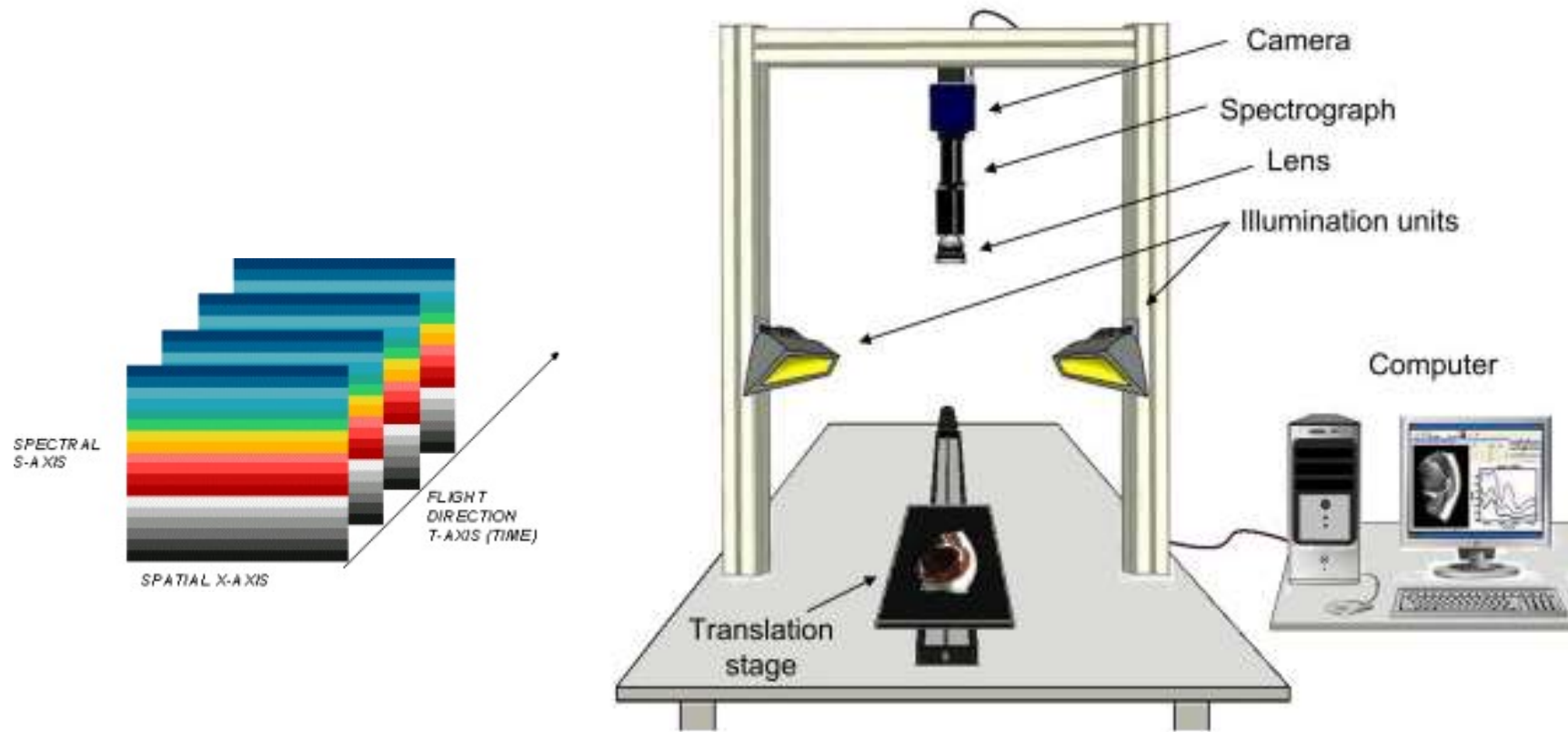
- ❑ Liquid Cristal Tuneable Filters
  - Laminas de cristal líquido y cuarzo entre dos polarizadores lineales
  - + Resolución espacial
  - - Procesamiento en línea
  - - Tiempo de adquisición alto



# Espectrómetro de imagen

## □ Espectrómetro de imagen

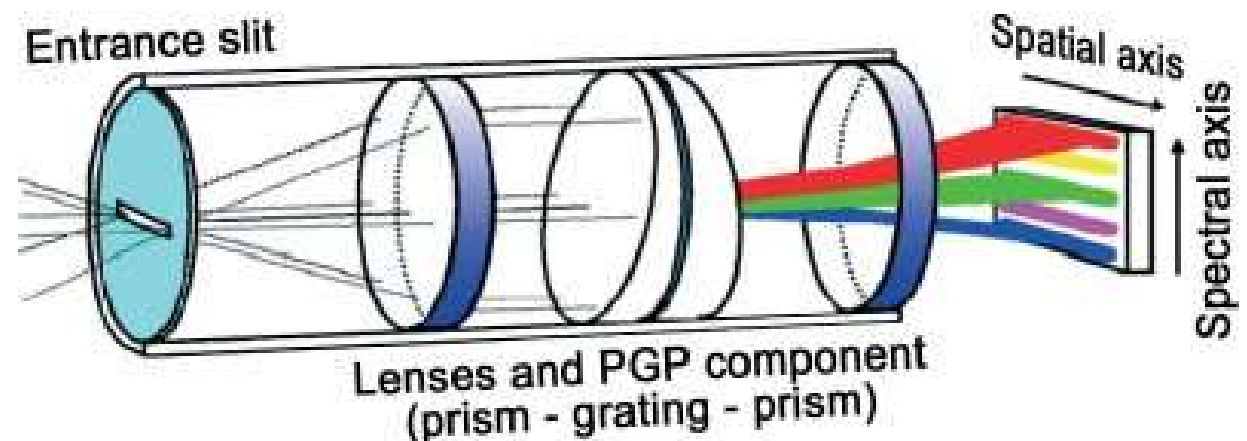
- Cámara matricial
- Espectrofotómetro 900–1700 nm
- Iluminación incandescente halógena
- Plataforma móvil



# Espectrómetro de imagen

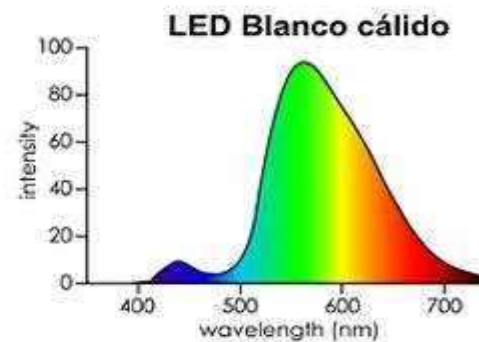
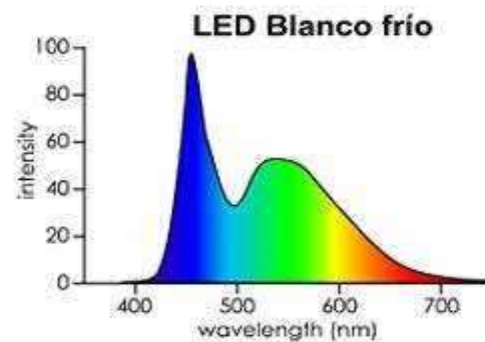
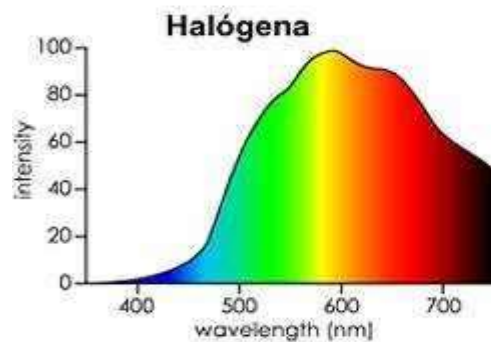
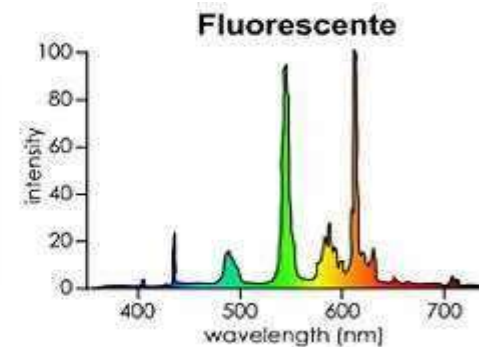
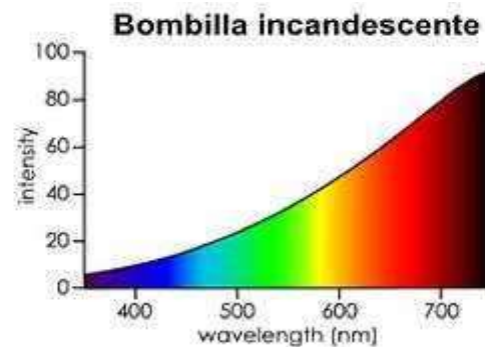
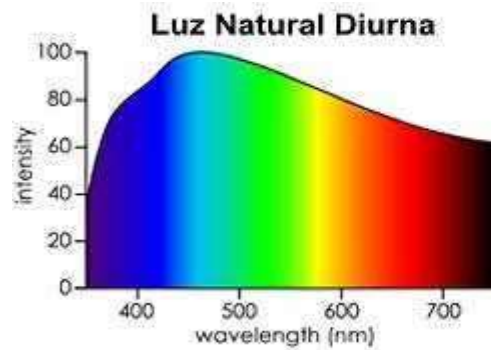
---

- ❑ Espectrofotómetro de imagen: acoplado a una cámara, proyecta una línea espacial en el eje X del CCD de la cámara.
- ❑ El CCD registra todas las longitudes de onda en el eje Y
- ❑ Ventajas
  - Alta resolución espectral
  - Procesamiento en línea
- ❑ Inconvenientes
  - Baja resolución espacial



# Iluminación

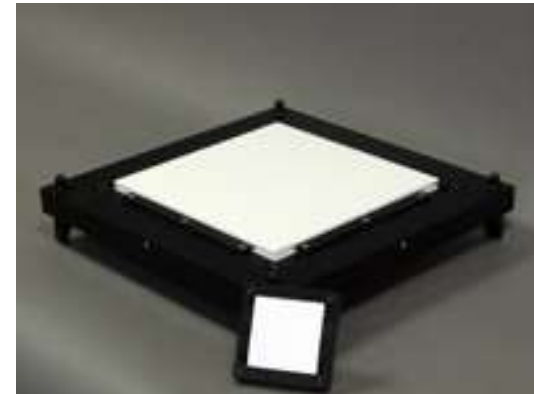
- ❑ La iluminación es el factor más importante en la toma de imágenes y especialmente crítico en imagen hiperespectral
- ❑ La iluminación debe ser:
  - Uniforme desde el punto de vista espacial
  - Eficiente en la zona espectral trabajada
  - Estable y Homogénea durante el tiempo



# Calibración

---

- ❑ Los iluminantes emiten radiación en longitudes de onda concretas. Hemos de asegurarnos que la radiación medida es solo la emitida por el objeto
- ❑ El equipo también influye en la medida
- ❑ Se usan referencias de reflectancia conocida y calibrada, para eliminar el efecto del iluminante y del equipo



---

# Análisis de los datos



# Análisis de las imágenes

---

- ❑ Imágenes deben ser analizadas con el objetivo de:
  - Detectar
  - Predecir
  - Clasificar
- ❑ No podemos pensar en los sistemas tradicionales de análisis de imágenes. Es necesario usar métodos estadísticos
- ❑ La quimiometría utiliza métodos de origen matemático y estadístico para y los aplica a la química analítica.
- ❑ Con el aumento de la capacidad computacional y los paquetes estadísticos se han popularizado algunos métodos (PCA, PLSR, PLSDA, LDA, SVM)
- ❑ Más reciente: deep learnign

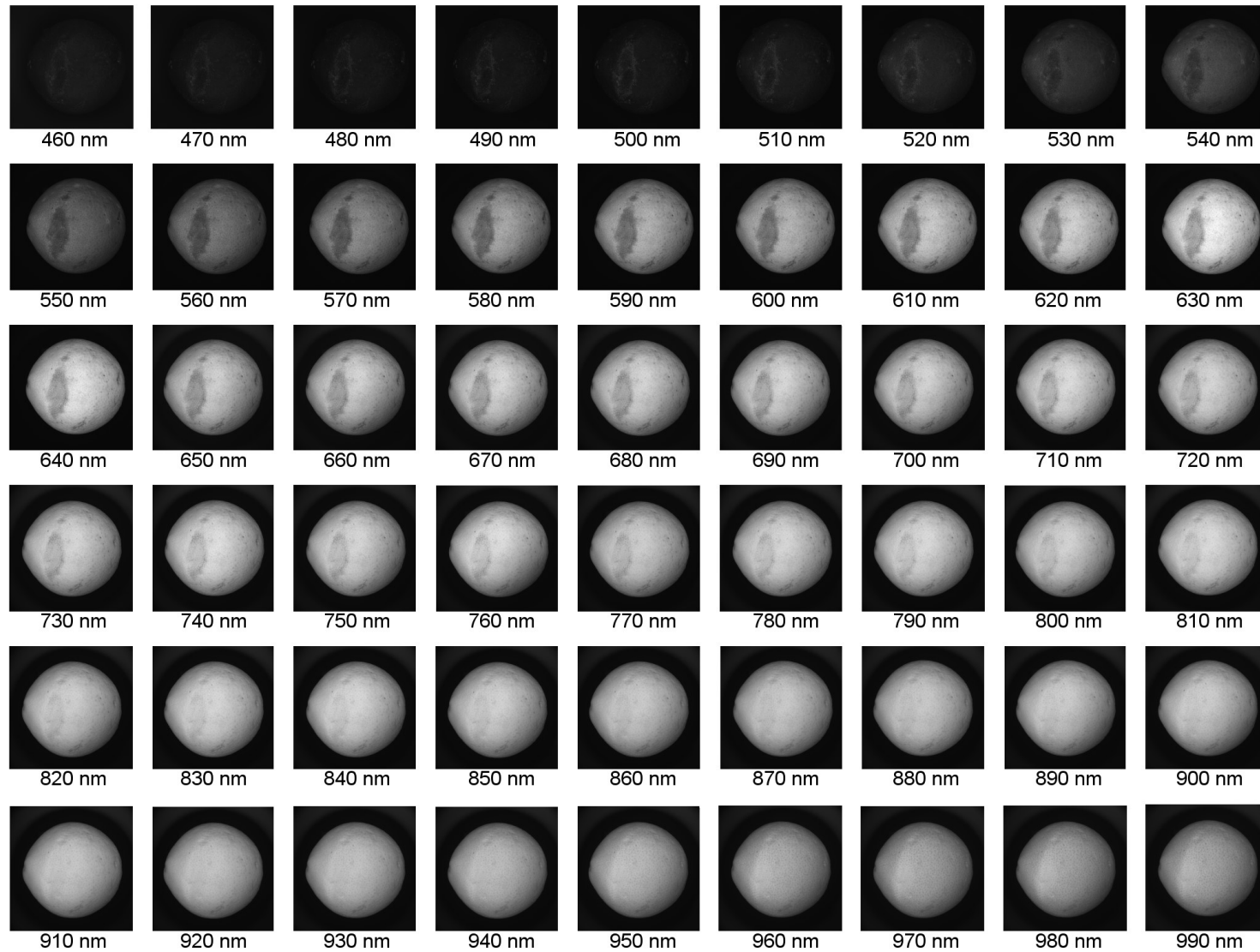
# Análisis de las imágenes

---

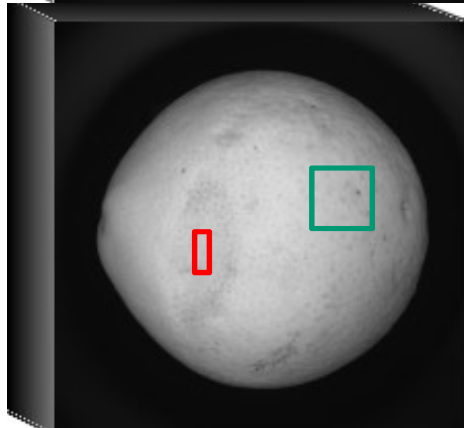
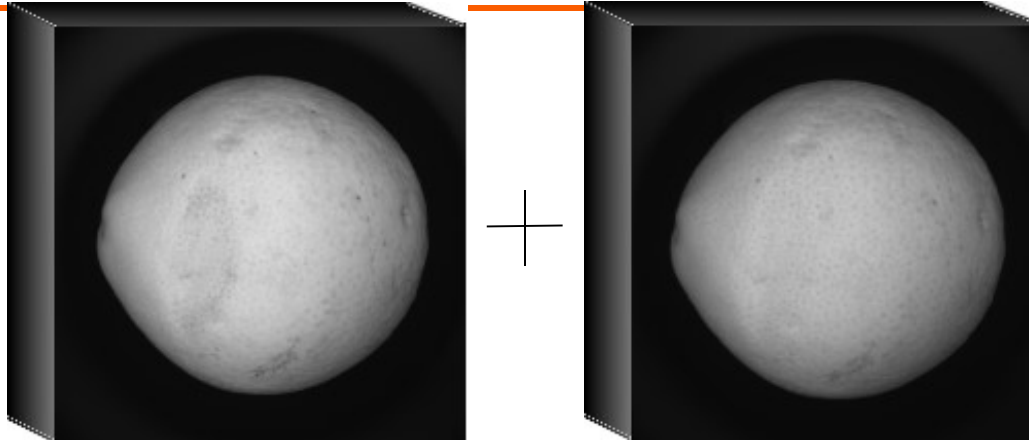
- ❑ Previamente: obtener datos de referencia
- ❑ Análisis de las imágenes:
  - ❑ Separar fondo de regiones de interés
  - ❑ Obtener datos (espectros) de regiones de interés
  - ❑ Pre-procesamiento (eliminación de scattering, baseline, centrado...)
  - ❑ Separación en conjuntos (entrenamiento, validación)
  - ❑ Modelado
  - ❑ Proyección sobre validación

# Análisis de las imágenes

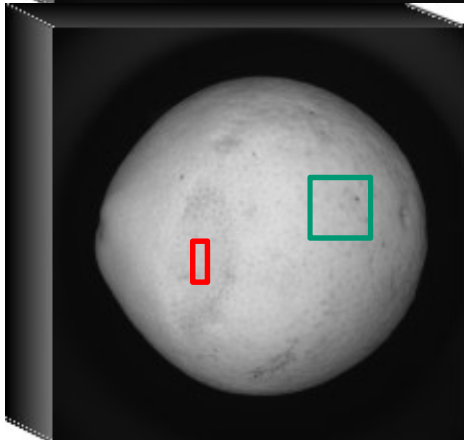
---



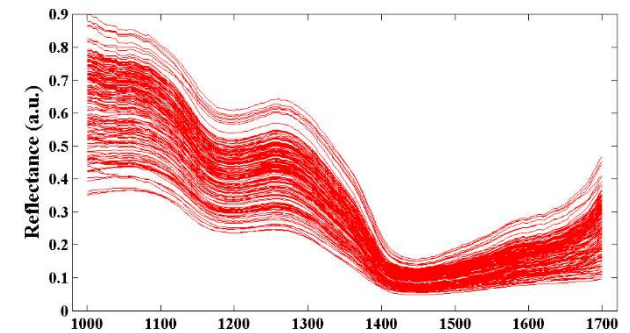
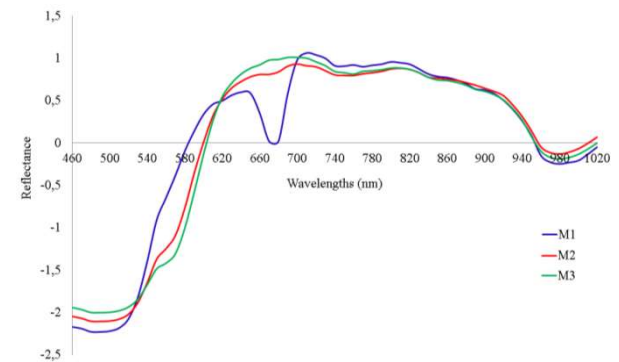
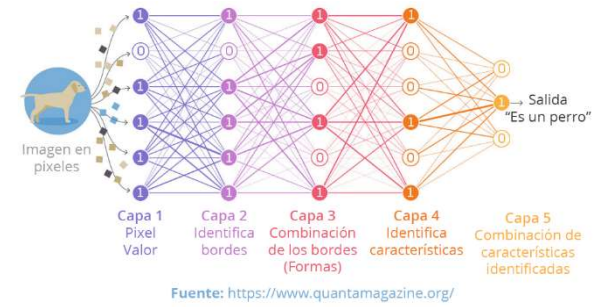
# Análisis de las imágenes



Promedio de cada zona

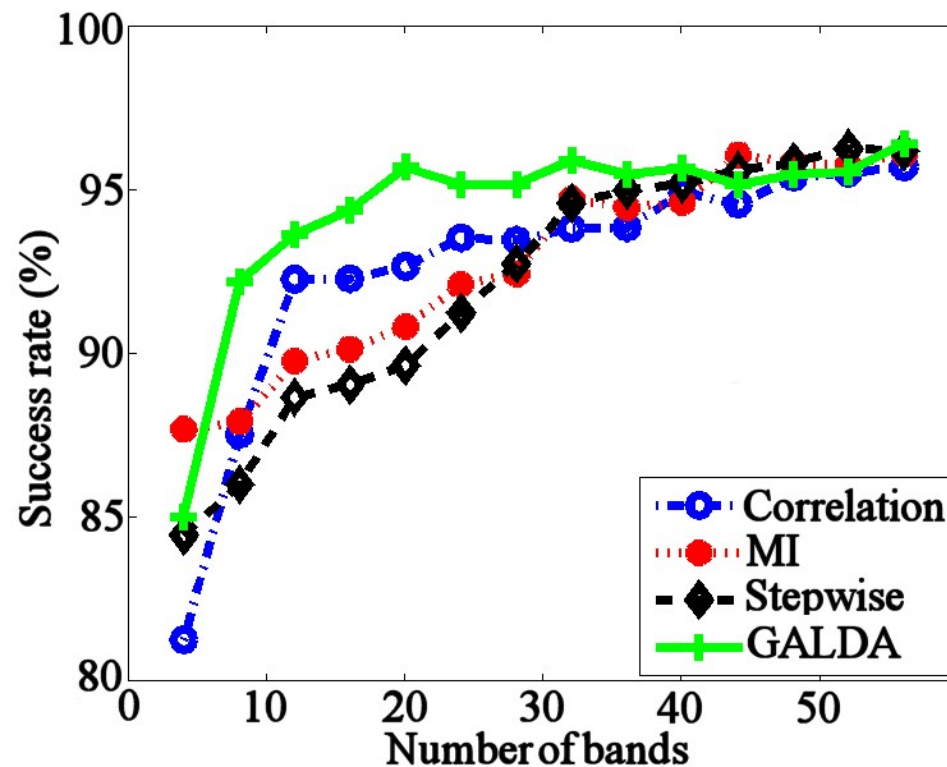


Conjunto de pixeles



# Reducción de dimensionalidad

- ❑ Encontrar un conjunto mínimo de longitudes de onda que conserve la variabilidad de las muestras
  - Eliminando atributos irrelevantes
  - Eliminando atributos redundantes
  - Aumentar el rendimiento computacional
  - A veces se sacrifica precisión en aras de simplicidad



---

# Ejemplos



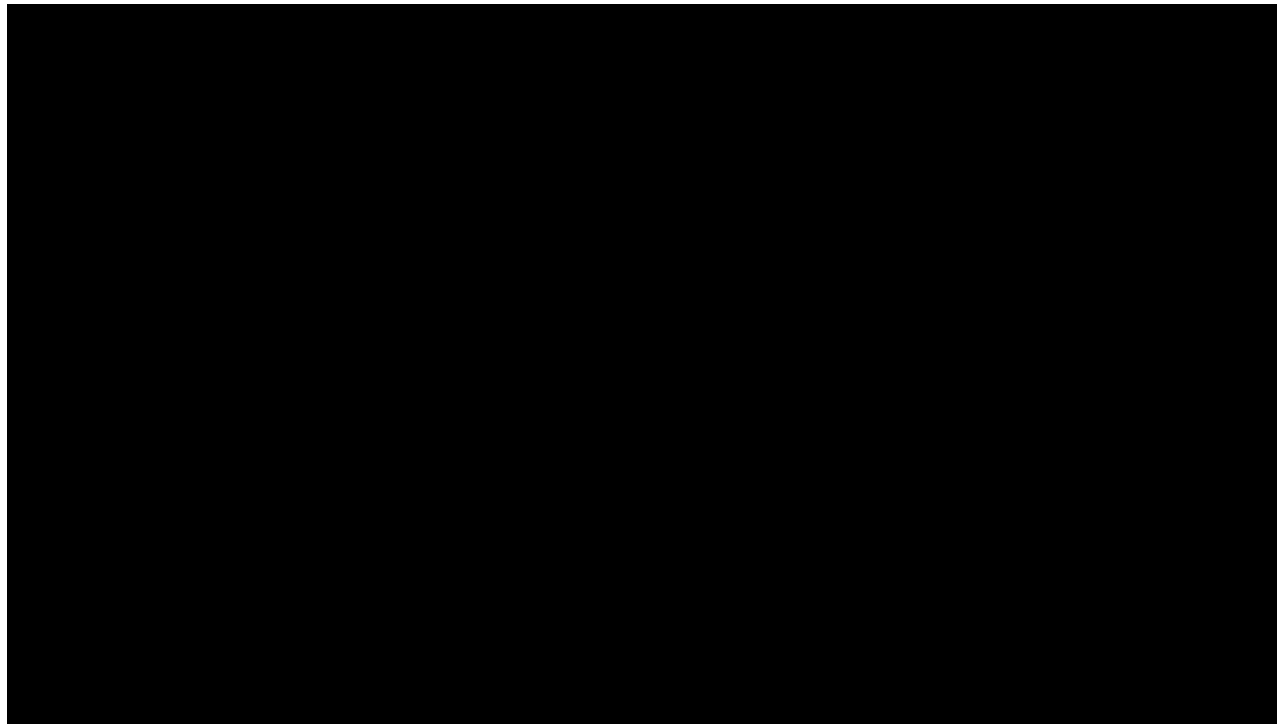
# Sistemas hiperespectrales

---



# Sistemas hiperespectrales

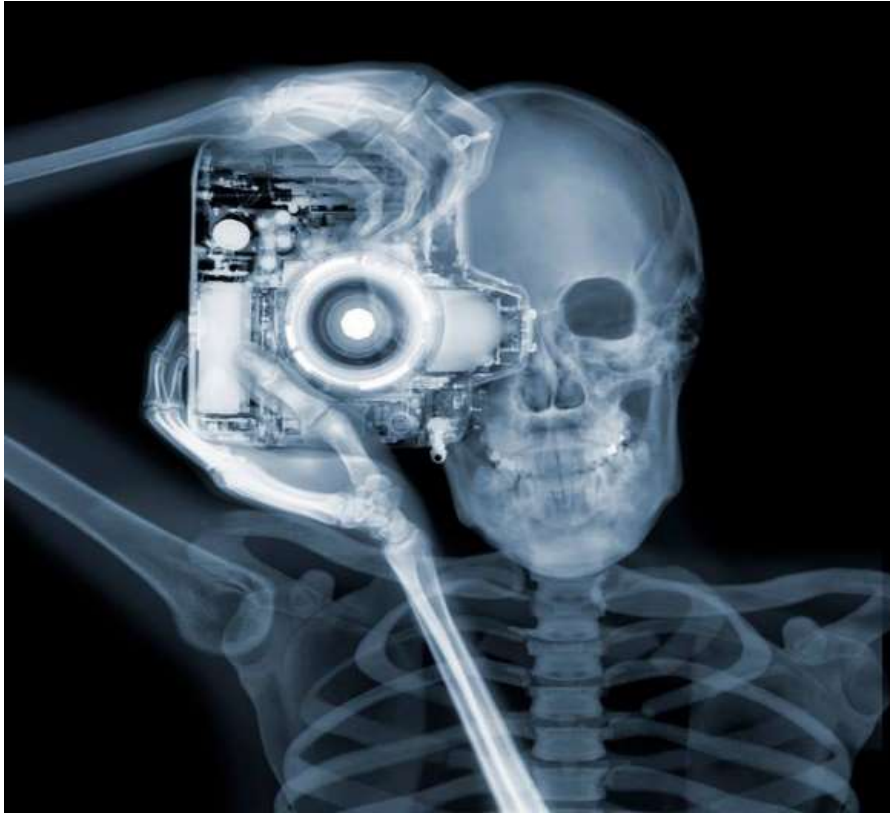
---



## Consideraciones finales

---

- ❑ La visión por computador empezó aplicándose en la industria agroalimentaria para la inspección de producto a imitación del ojo humano
- ❑ Las nuevas tecnologías ópticas penetran en los objetos y permiten ver lo que el ojo no ve: sabor, textura, daños internos, frescura, propiedades...
- ❑ Existe una continua bajada de precios a la vez que aumenta la tecnología
- ❑ Incremento de estudios científicos pero escasa penetración industrial (precio? complejidad?)
- ❑ RMI: Largo plazo
- ❑ Sistemas espectrales, Rayos X: Medio plazo



# Obrigado

**Dr. José Blasco Ivars**

**WWW.IVIA.ES**

**WWW.COFILAB.COM**

*Centro de Agroingeniería. Área de Visión Artificial y Espectrometría*

---

*Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)*