

## Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

### Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior de Córdoba  
Universidad de Córdoba

## Programa

### **Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial**

Tema 2.- Dificultades en los procesos de reconocimiento 2D

Tema 3.- Dificultades y limitaciones asociadas al uso de la Visión 3D



## Programa

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Visión artificial

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Visión artificial

### Introducción

- 1 Visión artificial
  - Introducción
  - Procesamiento de imágenes digitales
  - Visión computacional

## Visión artificial

### Introducción

#### Definición (Visión)

- **Aristóteles:** “*visión es saber qué hay y dónde mediante la vista*”.
- **Gibson<sup>a</sup>:** “*visión es recuperar de la información de los sentidos (vista) propiedades válidas del mundo exterior.*”
- **Marr<sup>b</sup>:** “*visión es un proceso que produce, a partir de las imágenes del mundo exterior, una descripción que es útil para el observador y que no tiene información irrelevante.*”

---

<sup>a</sup>J. J. Gibson. “The Ecological Approach to Visual Perception”. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

<sup>b</sup>D. Marr. “Vision”. San Francisco: Freeman, 1982.

## Visión artificial

### Introducción

#### Visión según Marr

- La definición de Marr es la que mejor describe el concepto de **visión artificial**.
- Esta definición tienen en cuenta tres aspectos importantes:
  - 1.- La **visión** es un **proceso computacional**.
  - 2.- La **descripción** a obtener **depende del observador**.
  - 3.- **Reducción de información**:
    - Es necesario eliminar la información que no sea útil.

## Visión artificial

### Introducción

#### Actividades de la visión artificial

- **Procesamiento de imágenes digitales:**
  - Tiene como objetivo la **descripción** y **reconocimiento** del contenido de una imagen digital.
- **Visión computacional:**
  - Pretende dotar a los **ordenadores** de la capacidad de poder **simular** la visión humana.

## Visión artificial

### Introducción

#### Visión artificial: dificultades

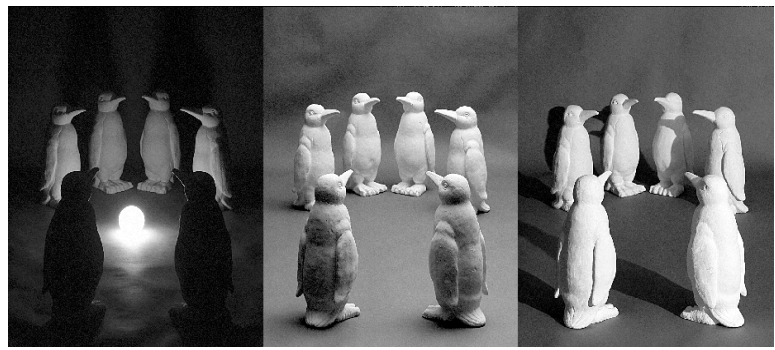
- Ambigüedad en la definición de un concepto
- Cambios de iluminación
- Cambios de escala
- Deformación
- Oclusión
- Movimiento
- Pérdida de información
- Etc.





## Visión artificial

### Introducción



Cambios de iluminación

## Visión artificial

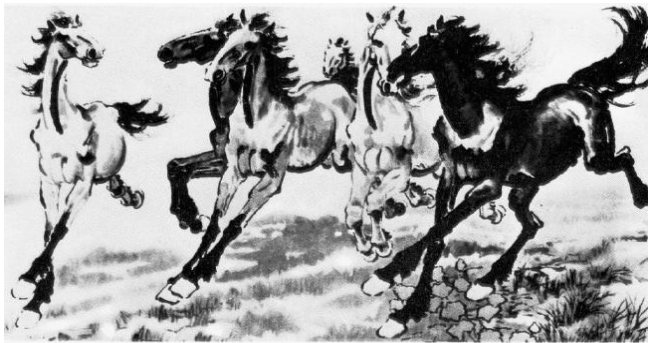
### Introducción

Cambios de escala



## Visión artificial

### Introducción



Deformación

## Visión artificial

### Introducción



Oclusión

## Visión artificial

### Introducción



Movimiento

## Visión artificial

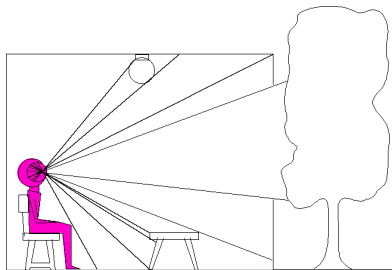
### Introducción

#### Visión artificial: dificultades

- Pérdida de información:
  - Las **escenas** que se perciben suelen ser **tridimensionales (3D)**.
  - Los dispositivos de captura (cámaras fotográficas o de vídeo, pantallas de rayos X, etc.) generan **imágenes bidimensionales (2D)**.

## Visión artificial

### Introducción



Observador de una imagen 3D

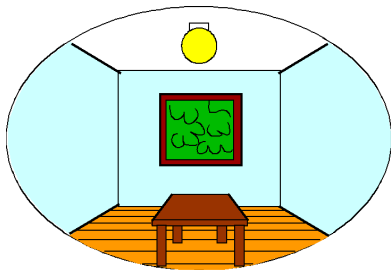


Imagen 2D

## Visión artificial

### Introducción

#### Proceso computacional: niveles de análisis de Marr

##### 1.- Teoría computacional:

- Descripción de los **objetivos** del proceso computacional y de las **estrategias** más adecuadas para conseguirlos.

##### 2.- Representación y algoritmo:

- Representación de los **datos de entrada** y de los **resultados de salida**.
- Algoritmo para lograr la **transformación** de los datos de entrada en los resultados de salida.

##### 3.- Implementación:

- **Desarrollo real** del proceso computacional.



## Visión artificial

### Introducción

#### Niveles de la visión artificial (1/3)

- **Problema u objetivo:** obtener una **descripción** de una imagen.
- **Dificultad:** este proceso es **muy complejo**.
- **Solución:** **descomponer** el problema en varias etapas o **niveles de visión**.

## Visión artificial

### Introducción

#### Niveles de visión artificial (2/3)

- 1.- **Nivel bajo:** se trabaja directamente con los **puntos** (*pixels*) para extraer propiedades como el **gradiente**, **profundidad**, **textura**, **color**, etc.
- 2.- **Nivel intermedio:** agrupa los elementos obtenidos en el nivel bajo para obtener **bordes**, **líneas**, **regiones**, generalmente con el propósito de **segmentar la imagen**.
- 3.- **Nivel alto:** orientado al proceso de **interpretación** de los entes obtenidos en los niveles inferiores y se utilizan **modelos** o **conocimiento a priori** del **problema**.

## Visión artificial

### Introducción

#### Nota (Niveles de la visión artificial (3/3))

- **Información:** se *reduce y refina* en cada nivel hasta conseguir la *descripción* deseada.
- **Relación entre los niveles:** no es siempre secuencial, sino que hay *interacciones* y *retroalimentación*.

## Visión artificial

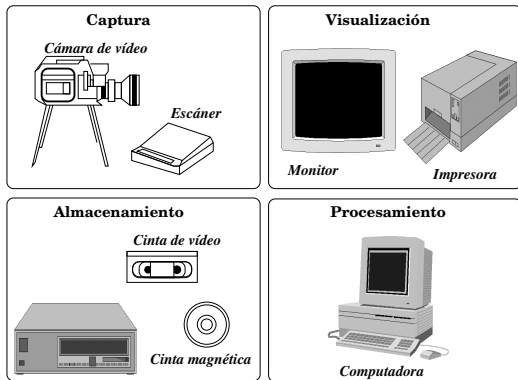
### Introducción

#### Definición (Sistema de visión artificial)

- **Dispositivo de captura:**
  - *Dispositivo físico sensible a una determinada banda del espectro electromagnético.*
  - *Produce una señal eléctrica proporcional al nivel de energía detectado.*
- **Convertor A/D:** *convierte la señal analógica obtenida por el dispositivo de captura en una señal digital.*
- **Memoria de vídeo:** *memoria semiconductora (RAM) en la que se almacena la imagen digitalizada.*
- **Procesador:** *procesador de propósito general que permite operar sobre la imagen digital.*

## Visión artificial

### Introducción



Sistema de visión artificial (*un poco antiguo*)

## Visión artificial

### Introducción

#### Sistemas de visión artificial: evolución

- Han evolucionado espectacularmente debido la **revolución tecnológica**.
- Se fabrican **cámaras** y **ordenadores** cada vez más **potentes** y con unos **precios** más asequibles.

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

- 1 Visión artificial
  - Introducción
  - Procesamiento de imágenes digitales
  - Visión computacional

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Definición (Procesamiento digital de imágenes)

**Transformación** de una *imagen del mundo real* a un *formato digital* *inteligible* por un *ordenador* y su posterior **procesamiento** por parte de éste.



## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Procesamiento digital de imágenes

#### Objetivos

- **Mejorar** la **calidad** visual de las imágenes para permitir la **interpretación** humana.
- **Extraer información** de las imágenes en un formato **entendible** por el ordenador.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Procesamiento digital de imágenes

#### **Multidisciplinar**

- Impulsa la colaboración de las Ciencias de la Computación con muchas áreas de investigación científica:
  - Medicina
  - Astronomía
  - Agricultura
  - Telecomunicaciones
  - Militar
  - Seguridad
  - Ocio
  - Etc.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Procesamiento digital de imágenes

#### Etapas o fases

- 1 Digitalización
- 2 Preprocesamiento
- 3 Segmentación
- 4 Representación
- 5 Descripción
- 6 Reconocimiento
- 7 Interpretación

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Definición (Digitalización)

- **Imagen analógica (continua)**: *imagen natural capturada con una cámara, sensor o cualquier otro dispositivo.*
- **Imagen digital (discreta)**: *proyección de la imagen analógica para que pueda ser manipulada usando un ordenador.*
- La *transformación* de una imagen *analógica* a otra *digital* se denomina **digitalización**.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Nota (Digitalización)

La **digitalización** es el primer paso en cualquier aplicación de procesamiento de imágenes digitales.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales



0	3	2	5	4	7	6	9	8
3	0	1	2	3	4	5	6	7
2	1	0	3	2	5	4	7	6
5	2	3	0	1	2	3	4	5
4	3	2	1	0	3	2	5	4
7	4	5	2	3	0	1	2	3
6	5	4	3	2	1	0	3	2
9	6	7	4	5	2	3	0	1
8	7	6	5	4	3	2	1	0

Imagen digital vista por (a) una persona y (b) un ordenador

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Digitalización: dificultades

- **Degradación** de la imagen digitalizada:
  - Ruido.
  - Pérdida de definición de la imagen.
- Posibles **causas** de esta degradación:
  - Calibración o enfoque de la cámara defectuosos.
  - Ruido producido por los sensores de captura.
  - Movimiento del dispositivo de captura o de la escena.
  - Transmisión defectuosa de la señal captada.
  - Perturbaciones aleatorias como la propagación de la radiación en el medio de transmisión (generalmente el aire).
  - Etc.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Definición (Preprocesamiento)

- **Atenuar** la *degradación de la imagen* para que las *siguientes etapas* tengan una *probabilidad de éxito* mayor.
- **Operaciones típicas** de esta etapa:
  - *Supresión de ruido*
  - *Realce del contraste*



## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Definición (Segmentación)

- **Extraer** la *información* contenida en la imagen.
- Dicha extracción se realiza mediante una **descomposición** de la imagen en *unidades* o *partes*.
- Cada *unidad* o *parte*:
  - es *homogénea* con respecto a una o más características.
  - tiene una fuerte relación con un *objeto* o *área* del mundo real.

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Nota (Dificultades de la segmentación)

- *Las partes u objetos componentes de una imagen dependen de la aplicación.*

#### Ejemplo (Objetos de interés de una imagen)

- *Un sistema de **reconocimiento aéreo** de objetivos militares busca vehículos, edificaciones, rutas de transporte, etc.*
- *Un **estudio geográfico** busca accidentes montañosos y las vías fluviales.*
- *Cada objeto de la imagen segmentada debe ser etiquetado para que pueda ser integrado dentro de una descripción de la imagen original.*

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Nota (Dificultades de la segmentación)

- *Las partes u objetos componentes de una imagen dependen de la aplicación.*

#### Ejemplo (Objetos de interés de una imagen)

- *Un sistema de **reconocimiento aéreo** de objetivos militares busca vehículos, edificaciones, rutas de transporte, etc.*
- *Un **estudio geográfico** busca accidentes montañosos y las vías fluviales.*
- *Cada objeto de la imagen segmentada debe ser etiquetado para que pueda ser integrado dentro de una descripción de la imagen original.*

## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales

#### Nota (Dificultades de la segmentación)

- *Las partes u objetos componentes de una imagen dependen de la aplicación.*

#### Ejemplo (Objetos de interés de una imagen)

- *Un sistema de **reconocimiento aéreo** de objetivos militares busca vehículos, edificaciones, rutas de transporte, etc.*
- *Un **estudio geográfico** busca accidentes montañosos y las vías fluviales.*
- *Cada **objeto** de la imagen segmentada debe ser etiquetado para que pueda ser integrado dentro de una descripción de la imagen original.*

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Definición (Representación)

*Se parametrizan los objetos o partes generados por la segmentación.*

### Ejemplo (Representación)

- *Sistemas de coordenadas cartesianas, polares.*
- *Códigos de cadena.*
- *Etc.*

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Definición (Descripción)

- **Extraer** *información (características o descriptores)* de la *representación elegida para permitir la posterior clasificación de los objetos.*
- *Ejemplos de descriptores:*
  - *Puntos dominantes, más significativos o relevantes de un contorno.*
  - *Perímetro del contorno.*
  - *Área de una región.*
  - *Número de huecos.*
  - *Etc.*

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

### Definición (Reconocimiento)

- **Clasificar** los diferentes *objetos* de la imagen utilizando sus *descriptores*.
- Los *objetos* detectados que presenten unos *descriptores semejantes* se agrupan en una misma **clase**.

## Visión artificial

Procesamiento de imágenes digitales

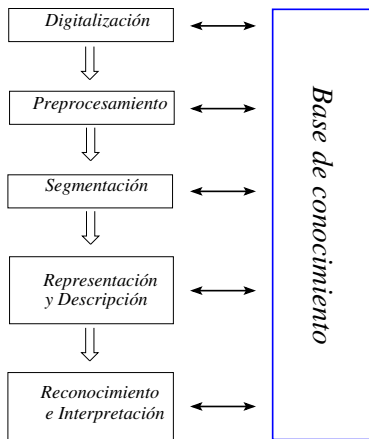
### Definición (Interpretación)

*Su misión es de darle un **significado** a los grupos de *objetos reconocidos*.*



## Visión artificial

### Procesamiento de imágenes digitales



Fases del procesamiento de una imagen digital

## Visión artificial

### Visión computacional

- 1 Visión artificial
  - Introducción
  - Procesamiento de imágenes digitales
  - Visión computacional

## Visión artificial

Visión computacional

### Definición (Visión computacional (*computer vision*))

**Ciencia** que estudia los fundamentos teóricos, algoritmos y aplicaciones para *comprender* el *significado* de una *escena* a partir del *análisis* de una o varias *imágenes*.

## Visión artificial

Visión computacional



¿Significado de la escena?

## Visión artificial

### Visión computacional

#### Nota (Visión computacional)

- El término *comprender* depende de cada de cada aplicación:
  - *Medicina*: detección de enfermedades.
  - *Industria*: control de procesos, clasificación, inspección.
  - *Robótica*: guiado de vehículos.
  - *Detección y seguimiento*: personas, vehículos, etc.
  - *Recuperación de imágenes* de bases de datos.
  - *Reconocimiento* de acciones humanas.
  - *Ocio*: fotografía, juegos, ...
  - *Etc.*

## Visión artificial

Visión computacional

### Definición (*machine vision*)

- *Aplicación de la visión por computador a procesos industriales.*

## Visión artificial

### Visión computacional

#### Visión computacional: características

- Disciplina relativamente reciente y en constante desarrollo.
- **Multiestrategia**: no existe una forma única o general de solucionar un problema sino métodos diversos según el campo de aplicación.
- **Multidisciplinar**: varios campos dentro del área de visión artificial
  - Ciencias de la computación
  - Matemáticas
  - Física
  - Medicina
  - Etc.
- Etc.

## Imagen digital

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital**
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*



## Imagen digital

### Introducción

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Introducción

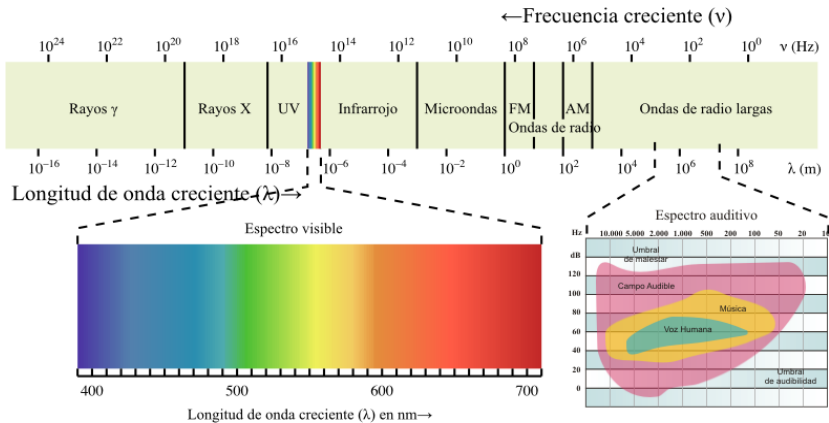
#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (1/1)

##### Imágenes formadas por

- **La luz visible:** capturadas por una cámara fotográfica, de vídeo o de TV.
- **Rayos ultravioleta:** fotoluminiscencia
- **Rayos infrarrojos:** permiten la visión nocturna.
- **Sensores de rango:** generan una imagen a partir de la distancia de los objetos.
- **Campos magnéticos:** resonancia magnética

## Imagen digital

### Introducción



## Espectro electromagnético

## Imagen digital

### Introducción



Imagen de la Galaxia Andrómeda usando luz visible (NASA)

## Imagen digital

### Introducción



Imagen de la Galaxia Andr3meda usando luz ultravioleta (NASA)

## Imagen digital

### Introducción

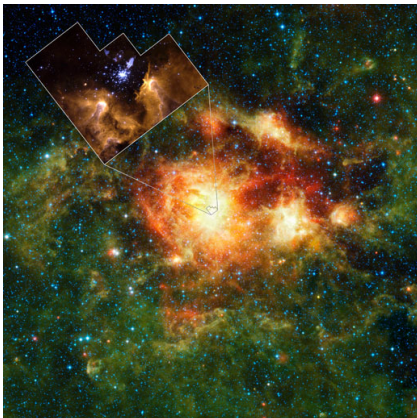
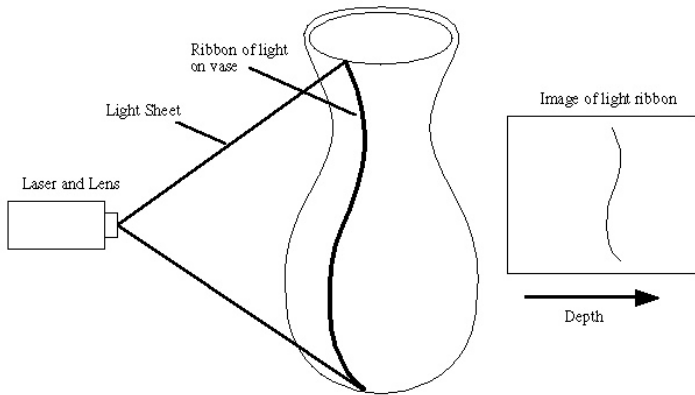


Imagen de infrarrojos de la NASA

## Imagen digital

### Introducción



Formación de una imagen de rango

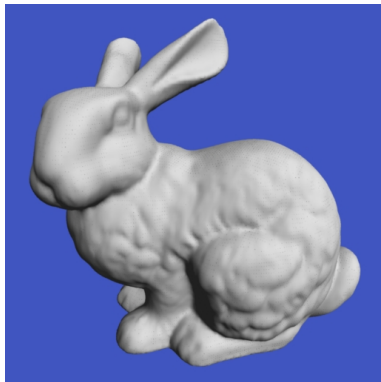
[www.cc.gatech.edu/~turk/bunny/bunny.html](http://www.cc.gatech.edu/~turk/bunny/bunny.html)

## Imagen digital

### Introducción



(a) Conejo



(b) Imagen de rango

[www.cc.gatech.edu/ turk/bunny/bunny.html](http://www.cc.gatech.edu/~turk/bunny/bunny.html)



## Imagen digital

### Introducción



Imagen obtenida por resonancia magnética

<http://hamiltonhealth.ca/cvs/mri-campaign/what-is-mri>

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (2/5)

#### Imágenes formadas a partir de

- **Ultrasonidos**

- **Ecografía:** reflexión de las ondas sonoras con partes del cuerpo.
- **Ecocardiograma:** utiliza ondas ultrasonoras de alta frecuencia.

## Imagen digital

### Introducción



Ecografía 2D

<http://www.dexeus.com/>

## Imagen digital

### Introducción

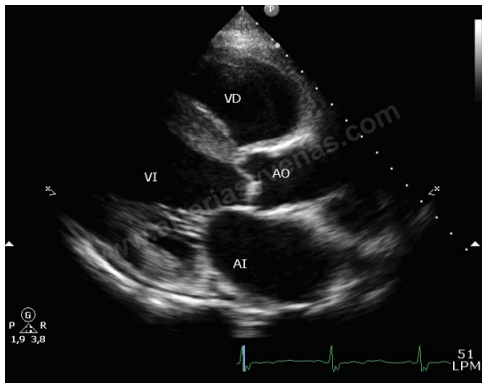


Ecografía 3D

<http://www.dexeus.com/>

## Imagen digital

### Introducción



Ecocardiograma

<http://www.arteriasyvenas.com/clinica/ecocardiograma>

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (3/5)

##### Imágenes formadas a partir de

- **Radiación de rayos X:**

- **Radiografía**
- **Radioscopia** (fluoroscopia): exploración continua con rayos X que muestra el movimiento del corazón y los pulmones.
- **Tomografía computarizada:** crea imágenes transversales (y 3D) utilizando los rayos X y muestra la ubicación exacta de las anomalías.
- **Angiografía:** se inyecta un líquido para explorar la circulación sanguínea.

## Imagen digital

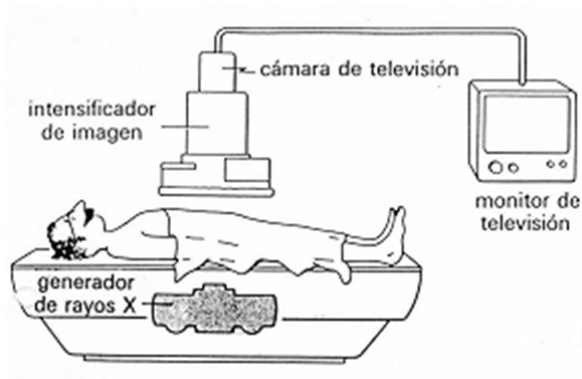
### Introducción



Radiografía

## Imagen digital

### Introducción

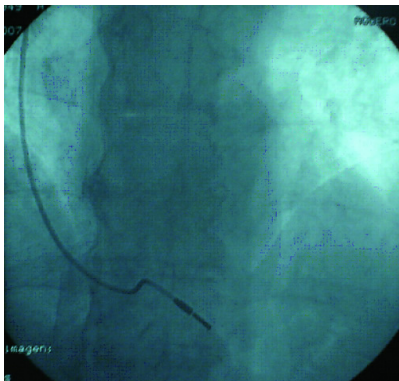


Proceso de radioscopia.



## Imagen digital

### Introducción

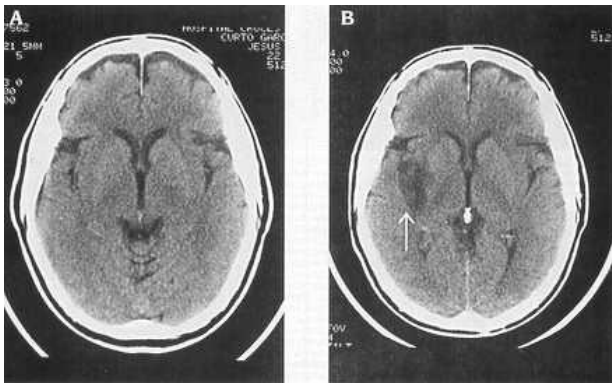


Radioscopia

<http://www.fac.org.ar/>

## Imagen digital

### Introducción



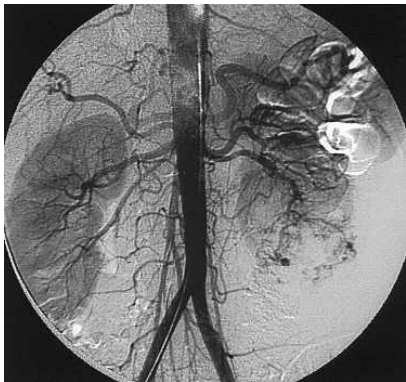
Tomografía

<http://sabia.tic.udc.es>



## Imagen digital

### Introducción



Angiografía

<http://sabia.tic.udc.es>

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (4/5)

##### Imágenes formadas a partir de

- **Impulsos eléctricos**
  - **Electrocardiograma:** amplifica los impulsos eléctricos del corazón y se registran en un papel en movimiento.
  - **Electroencefalograma:** imagen formada a partir de los impulsos eléctricos de electrodos colocados sobre el cuero cabelludo para analizar la actividad cerebral.

## Imagen digital

### Introducción

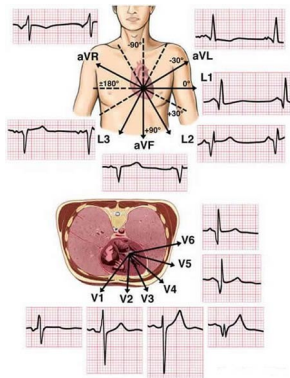
#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (5/5)

##### Imágenes formadas a partir de

- **Isótopos radiactivos:** los indicadores se reparten por todo el cuerpo y se detectan con una gammacámara.
  - Tomografía computarizada por emisión de fotones simples.
  - Tomografía por emisión de positrones: se inyecta una sustancia en la sangre que se desplaza hasta las estructuras cerebrales que permite medir la actividad que desarrolla el cerebro.

## Imagen digital

### Introducción



Electrocardiograma

<http://misalud.com/misalud/ecg.html>

## Imagen digital

### Introducción

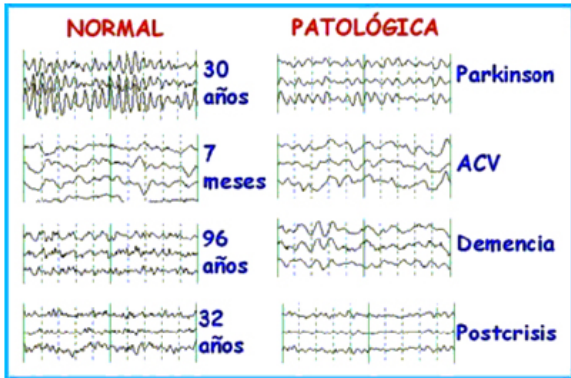


Preparación del electroencefalograma  
<http://dellchildrens.kramesonline.com/>



## Imagen digital

### Introducción



Electroencefalograma

<http://orientador.info>

## Imagen digital

### Definición

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Definición

#### Definición (Imagen digital)

- *Una imagen digital es una función **discreta** que representa la **proyección** de una imagen real (continua).*

## Imagen digital

### Definición

#### Modelización de las imágenes

- Las **imágenes** se puede modelar por una **función continua** de dos o tres **variables**.
  - **Imágenes estáticas**: los dos argumentos de la función son las coordenadas  $(x,y)$  del plano cartesiano.
  - **Imágenes dinámicas**: se necesita una tercera coordenada  $t$  que especifica el tiempo.
- **Valores** de la función:
  - Luminosidad, brillo o intensidad de la radiación de los puntos de la imagen.
  - También pueden representar temperatura, presión, distancia al observador, etc.

## Imagen digital

### Definición

#### Tipos de resoluciones en una imagen digital

- **Resolución espacial** (**muestreo**): número de puntos de la imagen discreta.
- **Resolución espectral**: número de bandas de la imagen discreta.
  - Imagen monocromática: 1 banda.
  - Imagen en color: 3 bandas.
  - Imagen multiespectral: n bandas.
- **Resolución radiométrica** (**cuantización**): número de valores o niveles diferentes que puede tomar en cada banda.
- **Resolución temporal**: intervalo de tiempo entre muestras consecutivas.

## Imagen digital

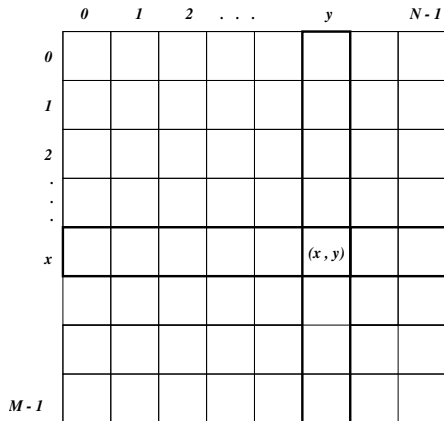
### Definición

#### Definición (Representación de una imagen digital)

- **Matriz** rectangular de  $M$  filas y  $N$  columnas
- Cada posición  $(x, y)$ 
  - Representa un **punto** o pixel (picture element) de la imagen.
  - Tiene asociada el nivel de **gris** o los niveles de **color** de dicho punto.

## Imagen digital

### Definición



### Estructura de una imagen digital

## Imagen digital

### Concepto de imagen digital monocroma

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas



## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Definición (Imagen digital monocroma)

- $f$ : función bidimensional de intensidad de luz
- $(x, y)$ : coordenadas espaciales de un punto de la imagen
- $f(x, y)$ : valor de la función de intensidad lumínica en el punto  $(x, y)$ .
- La intensidad lumínica también se denomina **nivel de gris**

## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Definición (Intensidad lumínica)

- $f(x, y)$  es una forma de **energía** donde

$$0 < f(x, y) = i(x, y)r(x, y) < \infty$$

- $i(x, y)$ : **iluminación** o intensidad de la luz incidente en la imagen

$$0 < i(x, y) < \infty$$

- $r(x, y)$ : **reflectancia** o proporción de la luz reflejada por los objetos

$$0 < r(x, y) < 1$$

(0: absorción total; 1: reflectancia total).

## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Nota (Niveles de gris)

$$G_{min} \leq f(x, y) = g \leq G_{max}$$

*Generalmente*

- $G_{min} = 0$  (*negro*)
- $G_{max} = 255$  (*blanco*)

## Imagen digital

### Muestreo

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Muestreo

#### Definición (Resolución espacial, muestreo o **sampling**)

- *Imagen **real**: imagen **continua** con infinitos puntos.*
- *Imagen **digital**: imagen **discreta** con un número finito de puntos.*
- *Conversión **analógico** - **digital**: se recorre la imagen real “fila a fila” y selecciona un número concreto de puntos de cada fila.*
- ***Resolución espacial** de la imagen digital: número de filas ( $M$ ) y de puntos por cada fila ( $N$ ).*
- *El **muestreo** genera una matriz o rejilla de  $M \times N$  puntos igualmente espaciados que representan la imagen discreta.*

## Imagen digital

### Muestreo

Muestreo de una imagen digital de  $M \times N$  puntos

$$\begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & & & \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

- $(x, y)$ : coordenadas espaciales de un punto
- $f(x, y)$ : nivel de gris de dicho punto.

## Imagen digital

Muestreo



$256 \times 256$



$182 \times 128$



$64 \times 64$



$32 \times 32$

Imagen con diferentes resoluciones

## Imagen digital

### Cuantificación

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas



## Imagen digital

### Cuantificación

#### Definición (Cuantificación de los niveles de gris *quantization*)

- También se denomina *resolución radiométrica*
- Consiste en asignar un valor **discreto** de intensidad luminosa (o nivel de gris) a cada uno de los puntos de la imagen.
- **Rango finito** de niveles de gris: determinado por el **número de bits** utilizados

$$G = 2^b$$

donde  $b$  representa el número de bits disponibles para almacenar un valor.

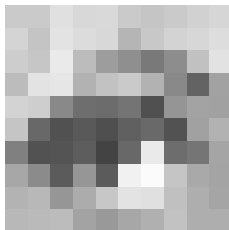
normalmente

$b = 8$  **bits** (1 **byte**),  $G = 2^b = 256$  y  $g \in [0, G - 1]$

## Imagen digital

### Cuantificación

Imagen

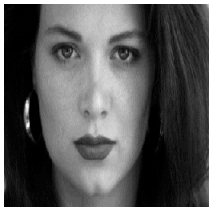


Niveles de gris

202	202	224	216	217	202	197	202	209	214
212	196	227	220	216	181	200	211	215	22
205	198	234	188	157	143	121	141	193	226
188	227	230	178	194	202	178	137	99	162
211	206	137	110	108	116	80	149	163	161
197	104	81	89	79	96	105	82	161	178
128	82	84	93	67	104	234	109	117	165
167	139	91	150	91	241	251	197	169	164
179	184	150	172	199	227	224	192	174	165
184	186	188	163	153	167	176	194	174	174

## Imagen digital

### Cuantificación



64 niveles



16 niveles



4 niveles



2 niveles

Imagen con diferentes “cuantificaciones” de los niveles de gris

## Imagen digital

### Concepto de imagen digital multiespectral

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

### Definición (Imagen digital multiespectral)

- **Función vectorial** con tantas componentes como bandas o planos tenga la imagen

$$\vec{f}(x, y) = (f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_n(x, y))$$

- Las **imágenes en color** tienen **tres bandas**, que dependen del **espacio de color**<sup>a</sup>.
- El espacio de color más popular es **RGB**

$$\vec{f}(x, y) = (\text{rojo}(x, y), \text{verde}(x, y), \text{azul}(x, y))$$

---

<sup>a</sup>Más adelante se describirán los espacios de color

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

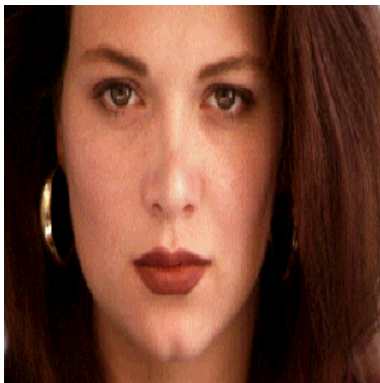


Imagen en color

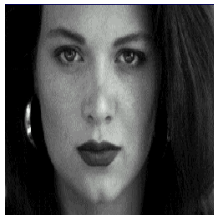
## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

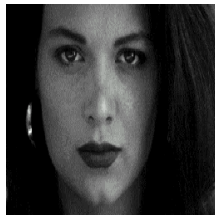
Planos de color de una imagen con formato RGB



Plano rojo



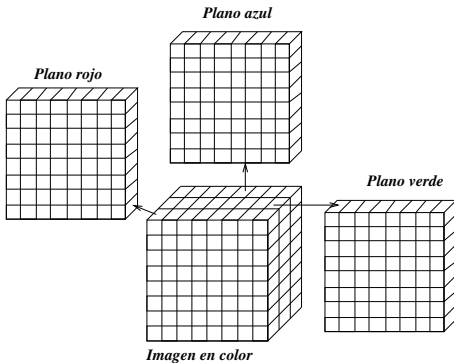
Plano verde



Plano azul

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multispectral

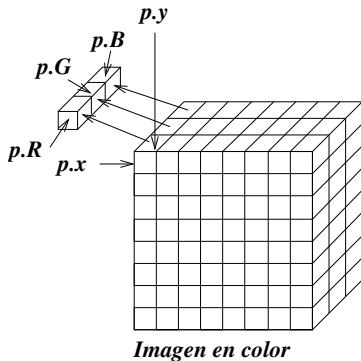


Estructura de una imagen en color con formato RGB



## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral



Punto o *pixel* de una imagen en color con formato RGB

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Vecindad entre puntos de una imagen digital)

- Cada punto  $P$  establece una **relación de vecindad o adyacencia** con los puntos que le rodean.
- Tipos de vecindad:
  - **Vecindad de orden 4:** sus dos vecinos horizontales y dos vecinos verticales
  - **Vecindad de orden 8:** sus ocho vecinos que lo rodean, dos horizontales, dos verticales y cuatro diagonales
- Los vecinos de orden 4 se denominan  $V_4(p)$
- Los cuatro vecinos diagonales se denominan  $V_D(p)$ .
- **Observacion:** si un punto está en los límites de la imagen, el vecindario se reduce.

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

	$(x-1, y)$	
$(x, y-1)$	$(x, y)$	$(x, y+1)$
	$(x+1, y)$	

Vecindad de orden 4

$(x-1, y-1)$	$(x-1, y)$	$(x-1, y+1)$
$(x, y-1)$	$(x, y)$	$(x, y+1)$
$(x+1, y-1)$	$(x+1, y)$	$(x+1, y+1)$

Vecindad de orden 8

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Conectividad entre puntos)

- *Dos puntos son **conexos** si tienen una determinada **propiedad** con un **valor similar**.*
- *Permite delimitar los **contornos** de los objetos*
- **Tipos de conectividad**
  - *Conectividad por **distancia**: dos puntos  $P$  y  $Q$  son conexos si la distancia entre ellos es menor que un determinado valor.*
  - *Conectividad por **vecindad** y **similitud**: dos puntos  $P$  y  $Q$  son conexos si*
    - *Poseen una relación de vecindad de orden 4 u 8*
    - *Poseen unas características similares (intensidad, color, textura, etc.)*

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Distancia entre puntos de una imagen digital)

- **D** es una función de **distancia** si:

$$\left\{ \begin{array}{l} D(P_1, P_2) \geq 0; \quad D(P_1, P_2) = 0 \iff p_1 = p_2 \\ D(P_1, P_2) = D(P_2, P_1) \\ D(P_1, P_3) \leq D(P_1, P_2) + D(P_2, P_3) \end{array} \right.$$

donde  $P_1, P_2$  y  $P_3$  son tres puntos de la imagen.

## Imagen digital

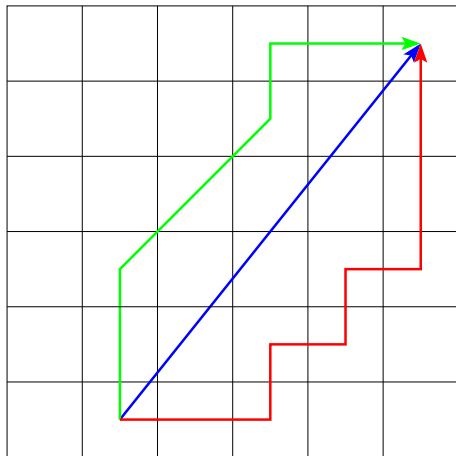
Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Tipos de distancias

- **Euclídea** (distancia  $D_2$ ):  
Distancia en línea recta entre dos puntos.
- **Manhattan** o de **la ciudad de los bloques** (distancia  $D_4$  o  $D_1$ ).  
Representa el número mínimo de pasos en dirección vertical u horizontal necesarios para ir desde un punto  $P_1$  hasta otro  $P_2$ .
- **Tablero de ajedrez** o de **Tchebychev** (Distancia  $D_8$  o  $D_\infty$ ).  
Permite movimientos diagonales, además de los verticales y horizontales.

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia euclídea

Distancia de Manhattan

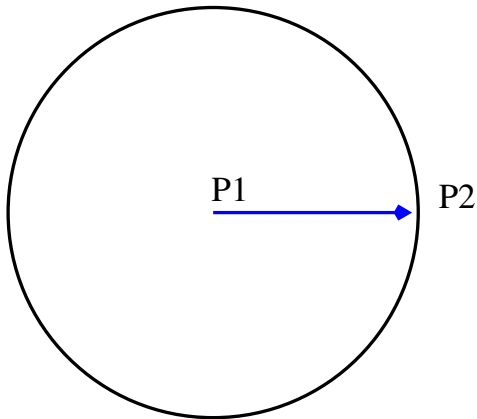
Distancia del tablero de ajedrez

Distancias entre dos puntos



## Imagen digital

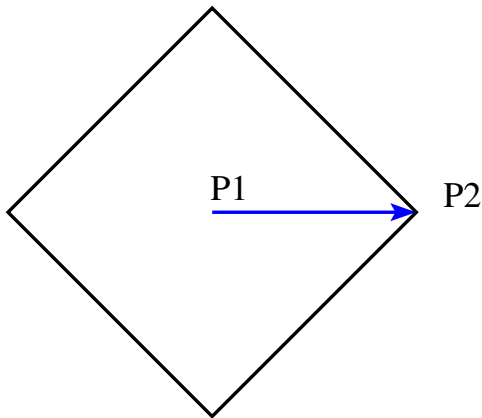
Vecindad entre puntos de una imagen digital



$$\text{Distancia euclídea: } D_2(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

## Imagen digital

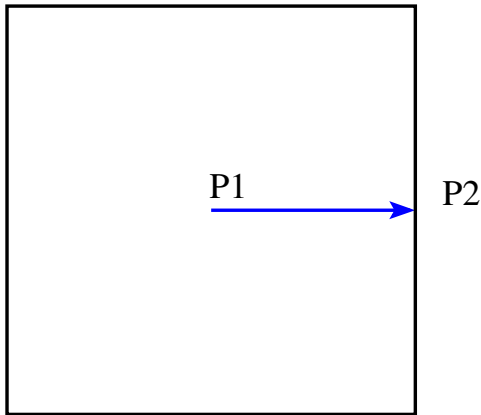
Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia de Manhattan:  $D_1(p_1, p_2) = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia del tablero de ajedrez:  $D_{\infty}(p_1, p_2) = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|)$

## Imagen digital

### Convolución digital

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Convolución digital

#### Definición (Máscara digital)

- También denominada *ventana, filtro o plantilla*
- **Características**
  - **Matriz** que representa una imagen digital de tamaño reducido y rectangular (generalmente, cuadrada)
  - **Coefficientes:** valores de los puntos que la máscara
  - **Dimensión:** producto del número de filas por el de columnas

## Imagen digital

Convolución digital

$w1$	$w2$	$w3$
$w4$	$w5$	$w6$
$w7$	$w8$	$w9$

Ejemplo de máscara de dimensión  $3 \times 3$

## Imagen digital

### Convolución digital

#### Definición (Convolución digital)

- Se **superpone** la *máscara* sobre cada *vecindario* de cada punto
- Y se realiza la siguiente *operación aritmética*:

$$C = \sum_{i=1}^9 (z_i * w_i) = z_1 * w_1 + z_2 * w_2 + \dots + z_9 * w_9$$

- El *resultado* se **asigna** al *punto central* del vecindario.

## Imagen digital

### Convolución digital

		$z1$	$z2$	$z3$	
		$z4$	$z5$	$z6$	
		$z7$	$z8$	$z9$	

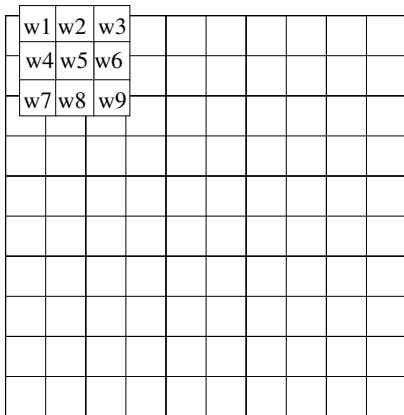
$w1$	$w2$	$w3$
$w4$	$w5$	$w6$
$w7$	$w8$	$w9$

Vecindario al que se aplicará una máscara de convolución.



## Imagen digital

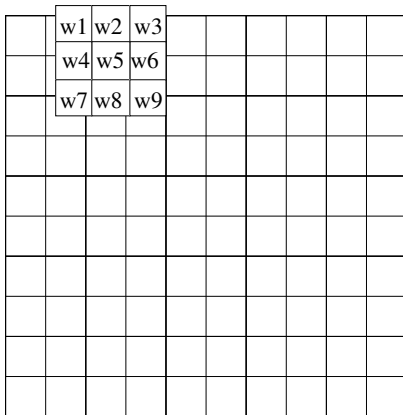
### Convolución digital



Paso 1 de una convolución

## Imagen digital

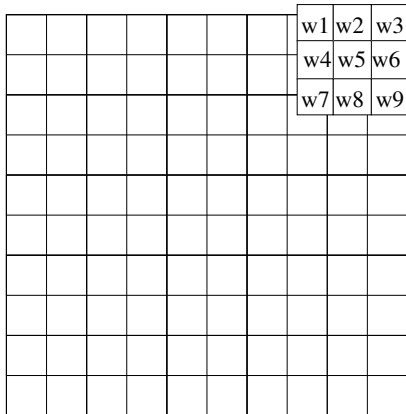
### Convolución digital



Paso 2 de una convolución

## Imagen digital

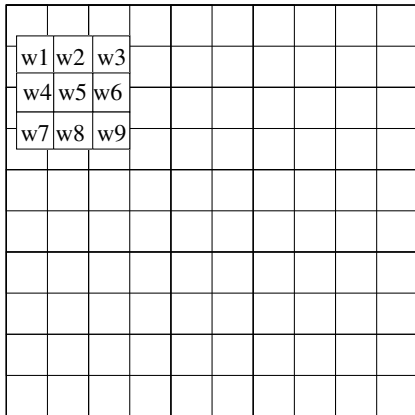
### Convolución digital



Paso n de una convolución

## Imagen digital

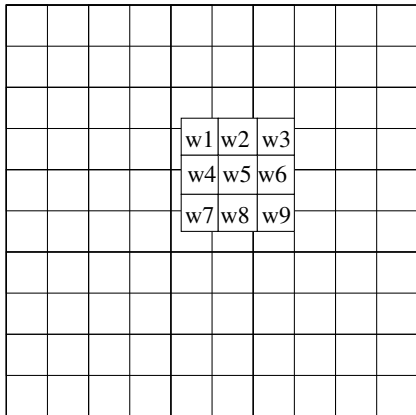
### Convolución digital



Paso fila de una convolución

## Imagen digital

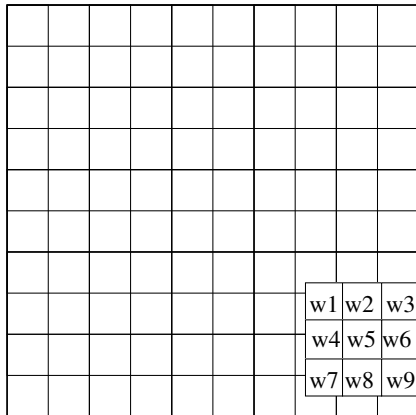
### Convolución digital



Paso medio de una convolución

## Imagen digital

### Convolución digital



Paso final de una convolución

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

#### Definición (Histograma de los niveles de gris)

- Eje de *abscisas*: posibles niveles de gris de la imagen
- Eje de *ordenadas*: número de puntos que tienen un determinado nivel de gris (*frecuencia absoluta*)

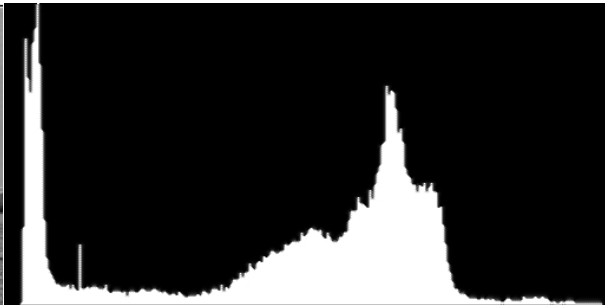


## Imagen digital

Histograma de niveles de gris



(a) Cameraman



(b) Histograma

Autor: Dr. S. E. Umbaugh

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

#### Nota (Histograma de los niveles de gris “normalizado”)

Se suele *normalizar* el histograma entre 0 y 1 dividiendo la frecuencia absoluta de cada nivel de gris entre el número total de puntos de la imagen, con lo que se obtiene la *frecuencia relativa*.

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

**Definición** (Histograma “normalizado” de niveles de gris)

$$h(g) = \frac{n_g}{n}$$

*donde*

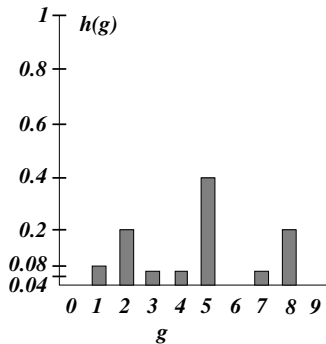
- **G**: número máximo de niveles de gris (generalmente, 256).
- **g**  $\in [0, G - 1]$ : nivel de gris (0: negro,  $G - 1$ : blanco)
- **I**: imagen de  $n = M \times N$  puntos
- **f(x, y)**: nivel de gris en el punto  $(x, y) \in I$ .
- **n<sub>g</sub>**: número de puntos de la imagen que tienen un nivel de gris igual a  $g$ .

## Imagen digital

Histograma de niveles de gris

5	1	5	2	2
3	5	7	5	5
5	8	5	2	2
4	1	2	5	8
8	5	8	8	5

(a) Imagen



(b) Histograma

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

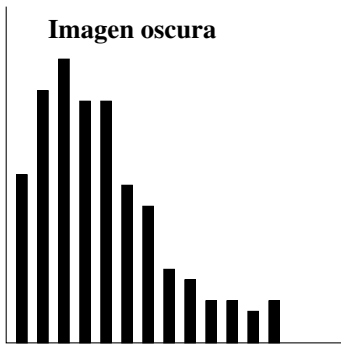
#### Histograma: análisis

- Permite **analizar** la imagen utilizando la **distribución** de los niveles de gris.
- Distribución **acumulada** en valores cercanos al nivel gris
  - 0: imagen oscura.
  - $G - 1$ : imagen con luminosidad
- **Contraste**: rango de valores del historigrama
  - Grande: imagen con un contraste alto
  - Pequeño: imagen con poco contraste
- **Número de objetos**: número de máximo locales (acumulaciones).

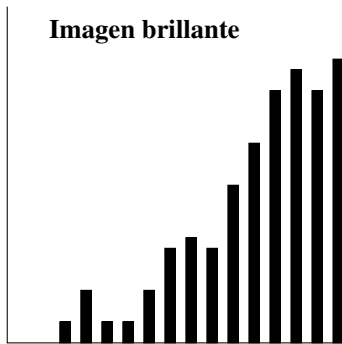
## Imagen digital

Histograma de niveles de gris

### Histogramas



(a) Imagen oscura

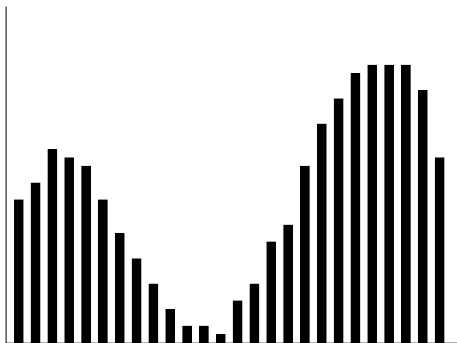


(b) Imagen brillante



## Imagen digital

Histograma de niveles de gris



Histograma de una imagen con un objeto diferenciado del fondo



## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Definición (Operaciones sobre los puntos de la imagen)

- **Operaciones puntuales:** *se modifica el nivel de gris de un punto teniendo en cuenta **sólo** su nivel de gris*
- **Operaciones locales:** *se modifica el nivel de gris de un punto teniendo en cuenta su nivel de gris y el de sus vecinos.*

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Ejemplo (Operación puntual)

*Conversión de una imagen de entrada  $f(x, y)$  en otra  $g(x, y)$ :*

$$g(x, y) = F[f(x, y)]$$

*donde  $F$  es la función de transformación.*

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Operaciones “lineales”

- Lineal:

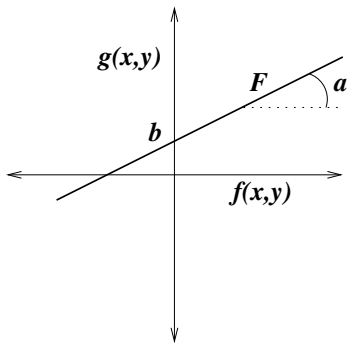
$$g(x, y) = F[f(x, y)] = af(x, y) + b$$

donde

- **f(x, y)**: nivel de gris de los puntos de la imagen de entrada,
- **g(x, y)**: nivel de gris de salida
- **a**: pendiente de la función lineal
- **b**: punto de corte con el eje de ordenadas de la función **F**

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen



Función lineal

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Tipos de operaciones puntuales "lineales"

- Si  $a = 1$  y  $b = 0$  entonces  $g(x, y) = f(x, y)$  (identidad).
- Si  $a = 1$  y  $b \neq 0$ , el nivel de gris se **incrementa** en  $b$  unidades.
- Si  $a > 1$ , se produce un **incremento del contraste**.
- Si  $0 < a < 1$ , se **reduce el contraste**.
- Si  $a < 0$ , los niveles oscuros se **convierten** en claros y viceversa.

## Imagen digital

### Operaciones algebraicas

- 2 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Operaciones algebraicas

#### Definición (Operaciones algebraicas sobre imágenes)

- **Suma:**  $h(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$
- **Resta:**  $h(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$
- **Multiplicación punto a punto:**  $h(x, y) = f(x, y)g(x, y)$
- **División punto a punto:**  $h(x, y) = \frac{f(x, y)}{g(x, y)}$



## Imagen digital

Operaciones algebraicas

3	2	4
6	1	2
3	7	2

 $+$ 

3	6	3
5	7	1
2	0	4

 $=$ 

6	8	7
11	8	3
5	7	6

Función algebraica: suma

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>6</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>7</i>	<i>2</i>

 $-$ 

<i>3</i>	<i>6</i>	<i>3</i>
<i>5</i>	<i>7</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>4</i>

 $=$ 

<i>0</i>	<i>-4</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>-6</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>7</i>	<i>-2</i>

Función algebraica: resta

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>6</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>7</i>	<i>2</i>

 $\times$ 

<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

 $=$ 

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Función algebraica: multiplicación “punto a punto”

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

3	2	4
6	1	2
3	7	2

 / 

3	2	4
1	1	1
1	1	1

 = 

1	1	1
6	1	2
3	7	2

Función algebraica: división "punto a punto"

## Color

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color**
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Color

### Introducción

#### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

### Introducción

#### Definición (Luz)

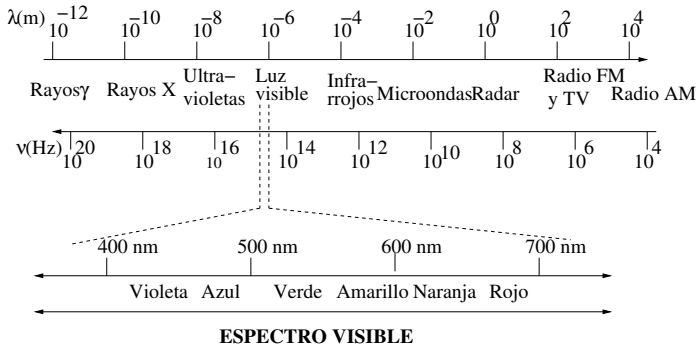
**“Energía radiante”** *que provoca la sensación de la visión al incidir en la retina y estimular los nervios ópticos.*

#### Definición (Color)

*La percepción humana del “color” está producida por la variación de la luz en el espectro electromagnético.*

## Color

### Introducción



Los colores en el espectro electromagnético



## Color

### Introducción

#### Luz acromática

- Luz **acromática** (sin color):
  - Su único atributo es la **intensidad (I)** o cantidad de luz.
- **Nivel de gris**:
  - Medida escalar de la intensidad que va del negro al blanco, pasando por los grises.
- El color permite **diferenciar** objetos con la misma intensidad luminosa

## Color

### Introducción

#### Color percibido

- El **color percibido** por una persona es el **color reflejado** por un objeto.
- Se dice que **un objeto es verde** si
  - **Refleja** luz del espectro correspondiente a la banda en la que está situado el color verde.
  - **Absorbe** la luz que está fuera de esa banda.

## Color

### Introducción

#### Magnitudes básicas de una fuente cromática

- **Radiancia** (*radiance*): cantidad total de energía que sale de una fuente luminosa.
- **Luminancia** (*luminance, Y*): cantidad de energía que un observador percibe de una fuente luminosa.
- **Brillo** (*brightness*):
  - Sensación visual según la cual un área parece emitir más o menos luz.
  - Descriptor subjetivo de difícil medida que incluye la noción acromática de la intensidad
  - Es uno de los factores fundamentales para describir las sensaciones del color.

## Color

### Introducción

#### Diferencia entre radiancia y luminancia

#### Ejemplo

- *Una fuente luminosa puede **emitir** gran cantidad de energía (radiancia) en forma de **rayos infrarrojos**.*
- *Sin embargo, dicha energía **no puede ser percibida** por un ser humano (luminancia) al estar **fuera** de los límites del **espectro visible**.*

## Color

### Introducción

#### Teoría de representación del color de Thomas Young (1802)

- Cualquier color puede ser producido por la mezcla de tres colores primarios  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  en sus proporciones adecuadas:

$$C = aC_1 + bC_2 + cC_3$$

## Color

### Introducción

#### Reglas esenciales de la colorimetría de Grassman (1853)

- 1.- Cualquier **color** puede ser creado por otros tres colores y esta **combinación** de los tres colores es **única**.
- 2.- Si dos colores son **equivalentes** entonces también serían equivalentes después de multiplicar o dividir por un mismo número las tres componentes que los integran.
- 3.- La **luminancia** de una mezcla de tres colores es igual a la suma de las luminancias de cada color.

## Color

### Introducción

#### Conos de la retina del ojo humano

Hay tres tipos de **conos** que se diferencian

- En el tipo de **proteína** que compone el pigmento que capta la luz
- Y en el **rango de longitudes de onda** a las que es sensible dicho pigmento.

## Color

### Introducción

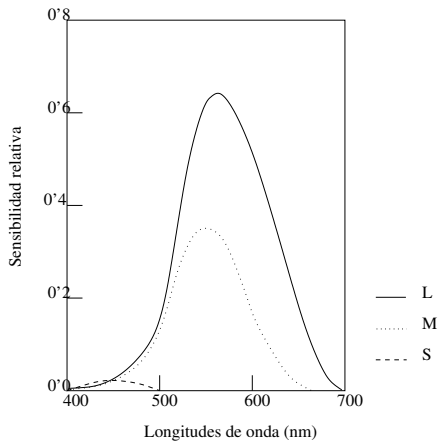
#### Sensibilidades máximas de los tipos de conos de la retina

Nombre (identificación)	Máxima sensibilidad	Alias
$\beta$ (azul)	455 nm (violeta)	S (Short)
$\gamma$ (verde)	535 nm (verde)	M (Medium)
$\rho$ (rojo)	570 nm (amarillo)	L (Long)



## Color

### Introducción



Sensibilidad de los conos de la retina

## Color

### Introducción

Proporción de cada tipo cono (estimación)

$$\rho : \gamma : \beta \rightarrow 40 : 20 : 1 \quad (1)$$

## Color

### Introducción

#### La formación de colores en el ojo humano

- Todos los colores se ven como **combinaciones** de los denominados **tres colores primarios**:
  - rojo
  - verde
  - azul
- **Colores secundarios**:
  - magenta = rojo + azul
  - cian = verde + azul
  - amarillo = rojo + verde
- **Color blanco**: mezcla en las proporciones adecuadas de
  - Los tres colores primarios
  - O de un color secundario y su color primario opuesto

## Color

### Introducción

#### Identificación y normalización de los colores primarios

##### Comisión Internacional de la Iluminación

(*C.I.E.: Commission Internationale de l'Eclairage*)

- Propuesta de 1931 (longitudes de onda)
  - rojo = 700 nm
  - verde = 546'1 nm
  - azul = 435'8 nm
- Propuesta de 1964 (longitudes de onda)
  - rojo = 645'2 nm
  - verde = 526'3 nm
  - azul = 444'4 nm

## Color

### Introducción

#### Nota

- Una longitud de onda específica **no** puede identificar de manera unívoca un color que pueda llamarse rojo, verde o azul
- Cada color **abarca** una pequeña franja del espectro visible.
- Además, tres componentes de RGB **fijas no** pueden generar por sí solas todos los colores del espectro.

## Color

### Introducción

#### Definición (Espacio o modelo de color)

- **Sistema de coordenadas tridimensional** *y un subespacio de ese sistema en el que cada color queda representado por un único punto.*
- *El modelo de color permite medir y especificar cuantitativamente los colores de una forma normalizada.*

## Color

### Introducción

#### Tipos de espacios de color

- **Independientes del dispositivo**
- **Dependientes del dispositivo**
  - Necesitan especificar un color directamente en el espacio de color de dicho dispositivo.
  - Los dispositivos que emiten luz (**monitores**) utilizan un espacio geométrico **aditivo**.
  - Los dispositivos que reflejan la luz (**impresoras**)
    - No pueden crear dicho espacio aditivo
    - Se ha de utilizar un espacio geométrico **sustractivo**, en el cual se restan componentes de la luz blanca

## Color

### Introducción

#### Tipos de espacios de color

- **Independientes del dispositivo**

- $XYZ$  y  $xyz$ .
- $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$ .
- Etc.

- **Dependientes del dispositivo**

- $RGB$
- $rgb$ ,  $lrg$  e  $YT_1T_2$ .
- $YIQ$  e  $YUV$
- $HSI$ ,  $HSL$ ,  $HSV$  y  $TekHVC$
- $CMY$
- Espacios de colores contrarios.
- Etc.



## Color

### Introducción

#### Nota

Los **espacios de color** *más utilizados* en el procesamiento digital de imágenes son los modelos **RGB, YIQ y HSI**.

## Color

### Introducción

#### Definición (Espacio de color visualmente uniforme)

*Un espacio de color es **visualmente uniforme** si las distancias numéricas entre colores han de estar relacionadas con la capacidad humana para **percibir diferencias de colores**.*

#### Nota

- *Es una **característica importante** que deben poseer los espacios de color*
- *Los espacios que poseen esta característica se denominan **espacios de color de escala uniforme** (USC, Uniform Scale Chromaticity).*

## Color

### Introducción

#### Representación gráfica de los espacios de color

- La mayoría de los formatos de color están basados en un grafo de color de tres dimensiones sobre un **cubo**
- *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC* usan un modelo **cilíndrico** o **cónico**.

## Color

### Espacio de color RGB

#### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

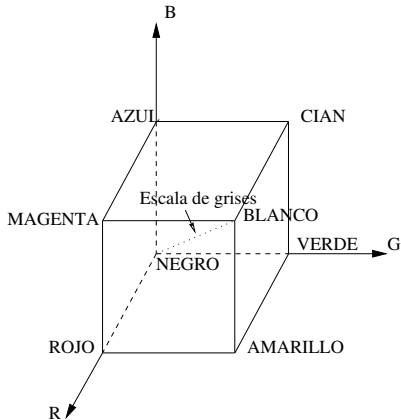
### Espacio de color RGB

#### Espacio de color *RGB*: características principales

- Debe su nombre a las iniciales de los tres colores primarios: **Red** (rojo), **Green** (verde) y **Blue** (azul).
- Sistema tridimensional de **coordenadas cartesianas**
- Cada **color** aparece con sus **componentes** espectrales primarias de **rojo**, **verde** y **azul**.

## Color

### Espacio de color RGB



Espacio de color *RGB*

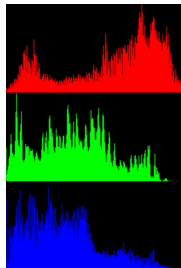
## Color

Espacio de color RGB

Imagen en color con formato RGB



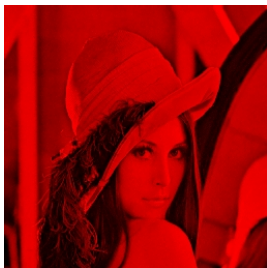
Lenna



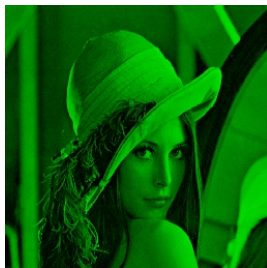
Histograma

## Color

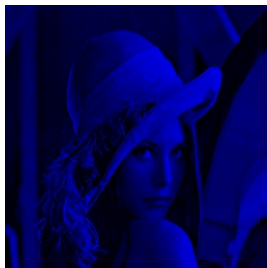
Espacio de color RGB



Plano rojo



Plano verde



Plano azul



## Color

### Espacio de color RGB

#### Espacio de color *RGB*: popularidad

- Formato **estándar** de los monitores en color y de la mayoría de las cámaras de vídeo
- Modelo de color más usado en el **procesamiento digital de imágenes**.

## Color

### Espacio de color RGB

#### Espacio de color *RGB*: “pros y contras”

- **Ventaja**
  - No requiere ninguna transformación para ser utilizado en el procesamiento digital de imágenes
- **Inconvenientes**
  - Las componentes *R*, *G* y *B* poseen un fuerte factor de intensidad y están altamente correlacionadas.
  - No es visualmente uniforme

## Color

### Espacios de color normalizados

#### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

Espacios de color normalizados

### Espacios de color normalizados

- Espacio de color **rgb** o espacio de color *RGB* normalizado
- Espacio de color **lrg**
- Espacio de color **YT<sub>1</sub>T<sub>2</sub>**

## Color

Espacios de color normalizados

**Definición** (Espacio de color *rgb* o *RGB* normalizado)

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B}$$

**Espacio de color *rgb*: propiedades**

- **Insensible** a cambios de intensidad.
- **Inestable** y poco significativo cuanto la **intensidad es pequeña**
- Una de las componentes es **redundante** porque  $r + g + b = 1$

## Color

Espacios de color normalizados

### Definición (Espacios de color $lrg$ e $YT_1T_2$ )

- $lrg$

$$l = \frac{R + G + B}{3} \quad r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B}$$

- $YT_1T_2$

$$Y = c_1R + c_2G + c_3B$$

$$T_1 = \frac{R}{R + G + B}$$

$$T_2 = \frac{G}{R + G + B}$$

donde  $c_1 + c_2 + c_3 = 1$

## Color

Espacios de color normalizados

### Espacios de color $lrg$ e $YT_1T_2$ : significado

- **I** o **Y**: intensidad o luminancia
- **r** y **g** o **T<sub>1</sub>** y **T<sub>2</sub>**: información cromática.

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios



## Color

### Espacios de color XYZ y xyz

#### Espacios de color XYZ y xyz: justificación

- *RGB* y *rgb* están basados en el uso de tres colores primarios.
- **No existe** ningún conjunto de tres colores primarios **reales** que sea capaz de **describir** todos los **colores** que pueden ser **percibidos**.
- *C.I.E.* propuso en 1931 un conjunto estándar de colores primarios que:
  - Son **imaginarios**: no pueden ser vistos por el ojo humano al estar demasiado saturados.
  - Pueden **describir** matemáticamente todos los **colores** que pueden ser **percibidos**.
  - Permiten **definir** los sistemas de color **XYZ** y **xyz**

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

### Definición (Espacio de color XYZ)

- **XYZ**: transformación lineal del sistema RGB.
- La matriz de transformación debe ser determinada empíricamente.
  - Matriz propuesta por C.I.E.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'490 & 0'310 & 0'200 \\ 0'177 & 0'813 & 0'011 \\ 0'000 & 0'010 & 0'990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Matriz propuesta por el sistema de televisión NTSC

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'607 & 0'174 & 0'201 \\ 0'299 & 0'587 & 0'114 \\ 0'000 & 0'066 & 1'116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- El color blanco es representado por  $X = Y = Z = 1$ .

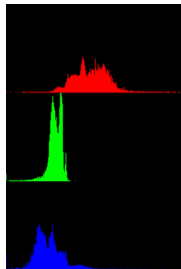
## Color

Espacios de color XYZ y xyz

Imagen en color con formato XYZ



Lenna



Histograma

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

### Espacio de color XYZ: “pros y contras”

- **Ventajas**

- Ha sido rigurosamente definido y es un estándar internacional.
- Es el principal espacio para realizar medidas de color.
- La información de la luminancia es determinada sólo por la componente Y.
- A partir de él se deduce “el diagrama cromático xy”.
- Es la base para otros espacios de *C.I.E.*

- **Desventajas**

- No es fácil especificar de manera intuitiva un nuevo color.

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

### Definición (Espacio de color xyz)

- **Coefficientes tricromáticos**

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

- *resultando que  $x + y + z = 1$*
- *Espacio de color **inestable** cuando la intensidad es pequeña.*
- *Los coeficientes **x** e **y** se utilizan para obtener el **diagrama cromático***

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

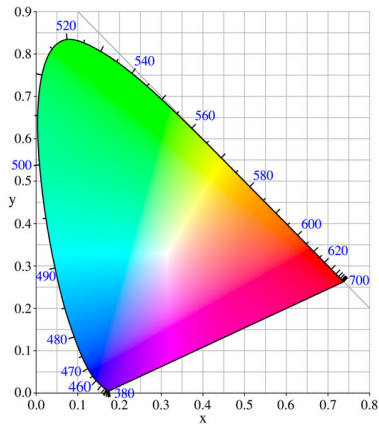


Diagrama cromático del sistema XYZ

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

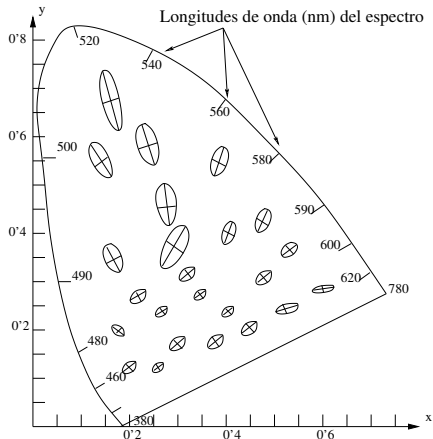


Diagrama cromático: elipses de MacAdam

## Color

Espacios de color XYZ y xyz

### Espacio de color xyz: diagrama cromático

- **Elipses de MacAdam:**
  - Corresponden a **colores** que, aunque pueden ser **vistos**, **no** pueden ser **distinguidos** por el ojo humano.
  - El tamaño y la orientación de las elipses son **variable**.
- Debido a este problema, las **diferencias de colores** **no** pueden ser definidas de una manera **uniforme** en el plano  $(x, y)$ .



## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

### Espacios de color $L^*u^*v^*$ y $L^*a^*b^*$

- Definidos por *C.I.E.* a partir del sistema *XYZ*
- Espacios de color de *escala uniforme (USC)*: pueden medir las diferencias entre los colores de una forma continua
- Inconveniente: son *inestables* cuando la intensidad es pequeña.
- *Conversiones* del modelo *XYZ* a los modelos  $L^*a^*b^*$  o  $L^*u^*v^*$ :
  - Lentas y complejas
  - Operaciones con números reales de punto flotante.
  - Mayores necesidades de memoria para las imágenes

## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

### Definición (Espacio de color $L^*u^*v^*$ )

$$L^* = \begin{cases} 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_0} > 0'008856 \\ 903'3 \frac{Y}{Y_0} & \text{si } \frac{Y}{Y_0} \leq 0'008856 \end{cases}$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad v' = \frac{9X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \quad v'_n = \frac{9X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$X_n, Y_n$  y  $Z_n$ : estímulos correspondientes al color blanco.

## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

### Espacio de color $L^*u^*v^*$ : propiedades

- $L^*$ : la luminosidad
- $u^*$  y  $v^*$ : cromaticidad
- Espacio de color visualmente uniforme
- Uso de la distancia euclídea para comparar colores:

$$(\Delta C)^2 = (\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2$$

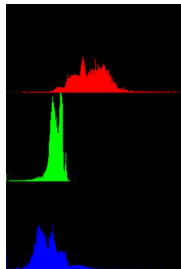
## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

Imagen en color con formato  $L^*u^*v^*$



Lenna



Histograma

## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$ Definición (Espacio de color  $L^*a^*b^*$ )

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_0} > 0'008856 \\ 903'3 \frac{Y}{Y_0} & \text{si } \frac{Y}{Y_0} \leq 0'008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \left[ \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \left[ \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n} > 0,0$$

$X_n, Y_n$  y  $Z_n$ : estímulos del color blanco.

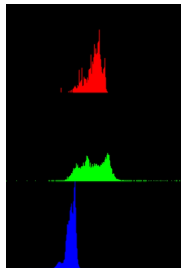
## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

Imagen en color con formato  $L^*a^*b^*$



Lenna



Histograma

## Color

Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$

### Espacio de color $L^*a^*b^*$ : propiedades

- $L^*$ : luminosidad.
- $a^*$ : contenido rojo-verde de la luz.
- $b^*$ : contenido amarillo-azul de la luz.
- Espacio de color visualmente uniforme.
- Uso de la distancia euclídea para comparar colores:

$$(\Delta C)^2 = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$$



## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Espacio de color YIQ e YUV

- Tienen en cuenta la mayor **sensibilidad** del ojo humano a los cambios de **iluminación** frente a los de tono o saturación.
- **YIQ**
  - Y: luminancia (*luminance*).
  - I: en - fase (*in - phase*).
  - Q: cuadratura (*quadrature*).
- **YUV**
  - Y: luminancia (*luminance*).
  - U: tono (*hue*).
  - V: saturación (*saturation*).

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Definición (Espacio de color YIQ)

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'299 & 0'587 & 0'114 \\ 0'596 & -0'275 & -0'321 \\ 0'212 & -0'523 & 0'311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

**Definición** (Espacio de color *YUV*)

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'299 & 0'587 & 0'114 \\ -0'169 & -0'331 & -0'500 \\ 0'500 & 0'419 & 0'081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

## Color

Espacios de color  $YIQ$  e  $YUV$

### Espacio de color $YIQ$ e $YUV$ : “pros y contras”

- **Ventajas**

- La luminancia ( $Y$ ) y la información del color ( $I$  y  $Q$  o  $U$  y  $V$ ) están desacopladas.
- Se puede procesar la intensidad ( $Y$ ) sin afectar a los colores relativos de la imagen.
- Usados en televisión:
  - sistema NTSC:  $YIQ$ ; sistema PAL:  $YUV$
  - Compatibilidad de TV color y TV blanco y negro (sólo usa  $Y$ )

- **Inconveniente**

- Es necesaria una transformación del sistema  $RGB$ .

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Definición (Espacio de color CMY)

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

*previa normalización de  $R, G, B \in [0, 1]$*

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Espacio de color *CMY*: propiedades

- **Colores secundarios de la luz o colores primarios de los pigmentos:**
  - *Cyan* (cian)
  - *Magenta* (magenta)
  - *Yellow* (amarillo)

### Nota

- Si una luz **blanca** incide sobre una superficie pigmentada con *cian*, entonces la luz *roja* no es reflejada, es decir, *cian* substrahe la luz *roja* de la luz blanca.
- Hay un comportamiento similar con el *magenta* y el *verde* o el *amarillo* y el *azul*.

## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Espacio de color *CMY*: propiedades

- **Colores secundarios de la luz o colores primarios de los pigmentos:**
  - *Cyan* (cian)
  - *Magenta* (magenta)
  - *Yellow* (amarillo)

### Nota

- Si una luz **blanca** incide sobre una superficie pigmentada con *cian*, entonces la luz *roja* **no** es reflejada, es decir, *cian* **substrae** la luz *roja* de la luz **blanca**.
- Hay un comportamiento similar con el *magenta* y el *verde* o el *amarillo* y el *azul*.



## Color

Espacios de color YIQ e YUV

### Espacio de color *CMY*: popularidad

- Usado por la mayoría de los dispositivos de impresión (impresoras, fotocopiadoras, *plotters*)
  - Requieren que los datos de entrada estén en formato *CMY*
  - O realizan una conversión de *RGB* a *CMY*

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Análisis de los espacios de color ya descritos

- Los modelos de color anteriores están **influenciados** por
  - El dispositivo:  $RGB$ ,  $rgb$ ,  $Irg$ ,  $YT_1T_2$ ,  $YIQ$ ,  $YUV$ ,  $CMY$
  - Razones de colorimetría:  $XYZ$ ,  $L^*u^*v^*$ ,  $L^*a^*b^*$
- **No** describen la **percepción humana** del color

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI, HSL, HSV y TekHVC*

- Sí describen la **percepción humana** del color
- Utilizan los siguientes atributos
  - **Tono**
  - **Saturación**
  - **Brillo o luminosidad**

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*

#### Definición (Tono)

- Relacionado con la **longitud de onda dominante** en una mezcla de ondas luminosas
- Representa el **color dominante** tal como lo percibe el observador.
- Cuando se **dice** que un objeto es **rojo**, **verde** o **amarillo**, se está indicando su **tono**.

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI, HSL, HSV y TekHVC*

#### Definición (Saturación)

- Indica la **pureza** relativa o **cantidad** de luz **blanca** mezclada con un tono.
- Los colores **puros** del espectro están completamente **saturados**
- Colores como el *rosa* (*rojo* y blanco) y el *lavanda* (*violeta* y blanco):
  - **Menos saturados**
  - Su grado de saturación es **inversamente** proporcional a la cantidad de luz **blanca** añadida.

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Espacios de color *HSI, HSL, HSV y TekHVC*

**Definición** (Brillo o luminosidad)

**Intensidad** *de luz percibida por el observador*

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Nota (Espacios de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*)

- La **cromaticidad** está constituida por el **tono** y la **saturación**
- Por tanto, un **color** se puede caracterizar por su **brillo** y su **cromaticidad**.



## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*

- Los espacios de color que utilizan estos atributos son:
  - **HSI**: tono (*hue*), saturación (*saturation*) e intensidad (*intensity*).
  - **HSL**: tono (*hue*), saturación (*saturation*) y luminosidad (*lightness*).
  - **HSV**: tono (*hue*), saturación (*saturation*) y valor (*value*).
  - **TekHVC**: tono (*hue*), valor (*value*) y croma (*chroma*).

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

**Nota** (Espacio de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*)

**Croma** y  **saturación** poseen significados muy similares

- **Saturación:** atributo de la sensación visual que permite indicar el grado de diferencia entre un estímulo cromático y un estímulo acromático sin tener en cuenta el brillo.
- **Croma:** es un atributo de la sensación visual que permite indicar la diferencia entre un estímulo cromático y un estímulo acromático del mismo brillo.

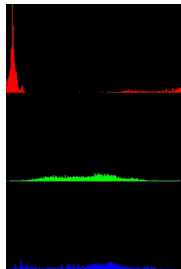
## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Imagen en color con formato *HSL*



Lenna

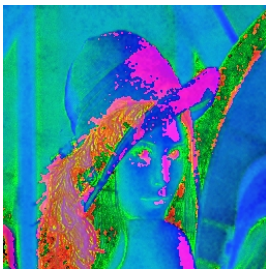


Histograma

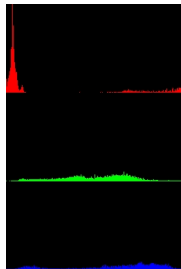
## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Imagen en color con formato *HSV*



Lenna



Histograma

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Definición (Espacio de color *HSI*)

- Sistema de **coordenadas cilíndricas**<sup>a</sup> obtenido a partir del sistema *RGB*

$$H = \arctan2(\sqrt{3}(G - B), 2R - G - B)$$

$$S = 1 - \frac{\text{mínimo}(R, G, B)}{I}$$

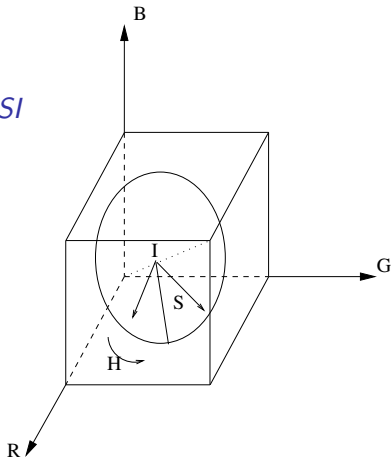
$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

<sup>a</sup>Existen otras transformaciones similares

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Espacio de color *HSI*



## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

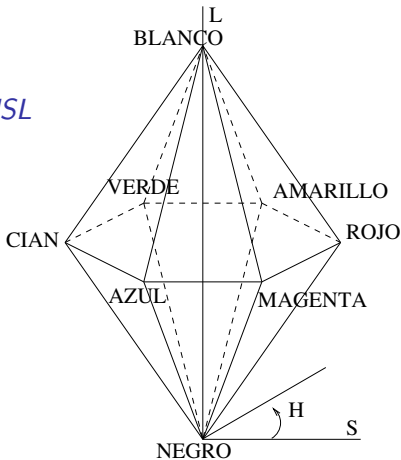
### Nota (Espacio de color *HSI*)

- Los **colores visibles** del sistema de coordenadas **cilíndrico** de *HSI* son los que están **incluidos** en el cubo de *RGB*.
- *Rango de valores:*
  - **Tono** (hue)  $\in [0^\circ, 360^\circ]$  (rojo =  $0^\circ$ )
  - **Saturación**  $\in [0, 1]$
  - **Intensidad**  $\in [0, 1]$

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Espacio de color *HSL*

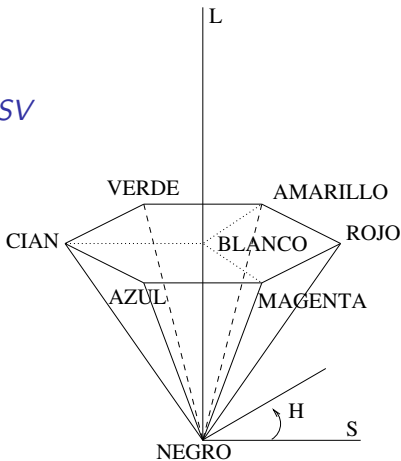




## Color

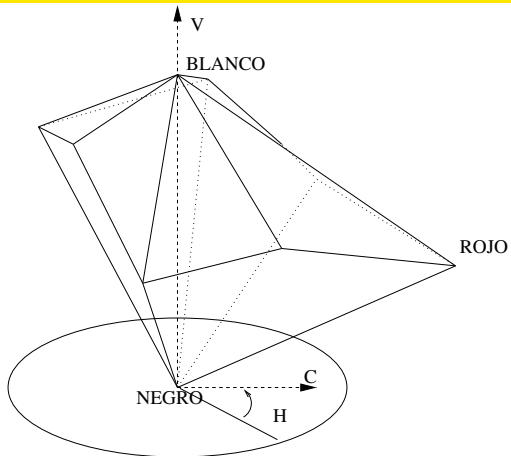
Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

Espacio de color *HSV*



## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC



Espacio de color *TekHVC* (basado en C.I.E.  $L^*u^*v^*$ )

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*: ventajas

- Son espacios de escala uniforme (*USC*).
- La **intensidad** (*I*, *L* o *V*) está **desacoplada** de la información cromática.
- **Tono y saturación** están íntimamente relacionadas con la forma en que las **personas** perciben el color.
- Son ideales para **mejorar** de imágenes en color real, aplicando técnicas monocromáticas al plano de intensidad

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Nota

- *Aplicar directamente técnicas monocromáticas a cada plano de RGB puede generar un color poco natural*
- *Por ejemplo, alteración del color de la piel de las personas.*

## Color

Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC

### Espacios de color *HSI*, *HSL*, *HSV* y *TekHVC*: inconvenientes

- **Singularidad** en el tono  $H$  que está indefinido cuando  $R = G = B = 0$ .
- Gran **sensibilidad** del tono:
  - Una pequeña variación del punto  $(0, 0, 0)$  al punto  $((1 - \alpha)\epsilon, \alpha\epsilon, 0)$  puede provocar que el tono varía desde  $0.0$  (para  $\alpha = 0$ ) hasta  $2\pi/3$  (para  $\alpha = 1$ ).
- Las imágenes se han de convertir al formato  $RGB$  (o  $CMY$ ) para que puedan ser visualizadas.

## Color

### Espacios de colores contrarios

#### 3 Color

- Introducción
- Espacio de color RGB
- Espacios de color normalizados
- Espacios de color XYZ y xyz
- Espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $L^*a^*b^*$
- Espacios de color YIQ e YUV
- Espacios de color HSI, HSL, HSV y TekHVC
- Espacios de colores contrarios

## Color

### Espacios de colores contrarios

#### Espacios de colores contrarios (*opponent color space*)

- Inspirados en la fisiología del sistema visual humano:
  - Puede ser expresado en términos de tonos de color contrarios, amarillo y azul por un lado y verde y rojo por otro.
  - Estos tonos se anulan mutuamente cuando se superponen.
- Modelos
  - Modelo  $I, RG, YB$
  - Modelo de Ohta.

## Color

### Espacios de colores contrarios

#### Espacios de colores contrarios (*opponent color space*)

- Modelo  $I, RG, YB$

$$I = R + G + B$$

$$RG = R - G$$

$$YB = 2B - R - G$$



## Color

### Espacios de colores contrarios

#### Espacios de colores contrarios (*opponent color space*)

- Modelo de Ohta (1980, 1985)

$$I_1 = \frac{R + G + B}{3}$$

$$I'_2 = R - B$$

$$I'_3 = \frac{2G - R - B}{2}$$

- Ohta afirma que la característica  $I_1$  es la más efectiva para la segmentación e  $I'_3$  la menos efectiva.
- Inconveniente: este modelo depende de la geometría de la escena (Healey, 1992).

## Ruido

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido**
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Ruido

### Definición

- 4 Ruido
  - Definición
  - Tipos de ruido
  - Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
  - Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
  - Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
  - Supresión del ruido

## Ruido

### Definición

#### Definición (Ruido)

- *Error que puede degradar la calidad de una imagen*
- *El ruido se puede producir durante la adquisición, la transmisión o el procesamiento de la imagen.*

## Ruido

### Definición



Imagen original: Lenna



Imagen con ruido uniforme ( $\sigma = 10,0$ )

## Ruido

### Definición

#### Definición (Robustez)

*Un sistema de visión artificial es **robusto** si genera *los mismos resultados* con ruido y en ausencia de ruido.*

## Ruido

### Tipos de ruido

- 4 Ruido
  - Definición
  - Tipos de ruido
  - Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
  - Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
  - Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
  - Supresión del ruido

## Ruido

### Tipos de ruido

#### Tipos de ruido

Las características probabilísticas permiten distinguir dos **clases de ruido**

- **Ruido local determinístico**
  - Presenta una forma y apariencia constante para cada sistema en particular.
  - Se manifiesta como una distribución constante y determinada dentro de la imagen.
  - Un ejemplo típico es la aparición en la imagen de una franja con unos niveles de intensidad sensiblemente diferentes a los del resto de la imagen.
- **Ruido aleatorio:** es producido por fuentes imprevistas y su distribución es aleatoria y cambiante con el tiempo.



## Ruido

### Tipos de ruido

#### Ruido: origen

El ruido se puede producir en la imagen durante:

- su adquisición
- su transmisión
- su procesamiento

## Ruido

### Tipos de ruido

#### Ruido semántico

- Ruido **intrínseco** provocado por la **textura** de los objetos o por un **entorno especial** de la escena
- Ejemplo: imágenes subacuáticas o con presencia de humo o vapor.

## Ruido

Tipos de ruido



Casa con "texturas"



Imagen subacuática

<http://divingforfun.com/>

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### 4 Ruido

- Definición
- Tipos de ruido
- Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
- Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
- Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
- Supresión del ruido

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido provocado durante la adquisición de la imagen (1/5)

Categorías de los dispositivos de adquisición de imágenes

- Sensores fotoquímicos: películas o diapositivas fotográficas.
- Sensores fotoelectrónicos: tubos *vidicon*, dispositivos de inyección de carga (CID, *Charge Injection Devices*) y dispositivos de carga acoplada (CCD, *Charge Coupled Devices*).

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido provocado durante la adquisición de la imagen (2/5)

- Aunque los dispositivos fotoquímicos pueden detectar y grabar la imagen al mismo tiempo, la imagen que producen **no puede ser fácilmente digitalizada**.
- Los dispositivos fotoelectrónicos superan a las películas en que pueden **digitalizar la imagen al mismo tiempo que la adquieren**.

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido provocado durante la adquisición de la imagen (3/5)

Tipos de ruido en las imágenes adquiridas con sensores fotoquímicos:

- **Ruido de grano de película** (*film grain noise*):
  - Provocado por los granos de plata que precipitan durante la exposición de la película.
  - Ruido es muy dominante cuando las imágenes son adquiridas con una velocidad alta.
  - Puede ser modelado mediante distribuciones de Poisson o gaussianas
- Ruido provocado por el **polvo** de los componentes ópticos o presente en el revelado de las películas.

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido provocado durante la adquisición de la imagen (4/5)

Ruido en las imágenes adquiridas con sensores fotoelectrónicos

- **Ruido térmico** (*thermal noise*):
  - Provocado por el calor originado por los componentes electrónicos.
  - Suele ser modelado como ruido aditivo blanco gaussiano de media cero.
- **Ruido fotoelectrónico:**
  - Producido por la fluctuación aleatoria del número de fotones de la luz.
  - Fluctuación baja: ruido modelado por una distribución de Poisson
  - Fluctuación alta: ruido modelado como un proceso gaussiano ( $\sigma = \text{sqrt}(\mu)$ ).



## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido provocado durante la adquisición de la imagen (5/5)

- **Ruido de cuantificación:** otro tipo de ruido estrechamente relacionado con la adquisición.
- Se produce cuando son usados insuficientes niveles de cuantificación para digitalizar la imagen.
- En tales situaciones aparecen contornos falsos.
- Se puede eliminar mediante una transformación en la escala de niveles de intensidad (por ejemplo, ecualización del histograma de frecuencias).

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen



64 niveles



16 niveles



4 niveles



2 niveles

Imagen con diferentes “cuantificaciones” de los niveles de gris

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen

### 4 Ruido

- Definición
- Tipos de ruido
- Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
- Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
- Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
- Supresión del ruido

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen

### Ruido provocado durante la transmisión de la imagen (1/4)

- La **transmisión** de una imagen digital entre dos dispositivos remotos (una cámara y un ordenador, dos ordenadores o un monitor y un ordenador) puede **incrementar el ruido** de la imagen.
- Tipos de ruido
  - **Ruido aditivo**
  - **Ruido multiplicativo**
  - **Ruido impulsivo** o **ruido de sal y pimienta** (*salt-pepper noise*).

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen

### Ruido provocado durante la transmisión de la imagen (2/4)

- **Ruido aditivo**

- Ruido que es independiente de la señal de la imagen.

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

donde la imagen original  $f$  y el ruido  $\eta$  son dos variables independientes.

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen

### Ruido provocado durante la transmisión de la imagen (3/4)

- **Ruido multiplicativo**

- Ruido dependiente de la magnitud de la señal.
- Si la magnitud del ruido es mucho mayor que la de la señal entonces

$$\begin{aligned}g(x, y) &= f(x, y) + \eta(x, y)f(x, y) \\ &= f(x, y)(1 + \eta(x, y)) \approx f(x, y)\eta(x, y)\end{aligned}$$

- Ejemplo:
  - Ruido de la pantalla de un televisor analógico.
  - Este ruido depende de la líneas del televisor: en el área de una línea, este ruido es máximo, y entre dos líneas es mínimo.

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen

### Ruido provocado durante la transmisión de la imagen (4/4)

- **Ruido impulsivo** o **ruido de sal y pimienta** (*salt-pepper noise*).
  - También aparece con frecuencia durante la transmisión de la imagen
  - Hay puntos de la imagen que poseen unos niveles de intensidad que difieren bastante de los niveles de los puntos de su entorno.
  - Suele aparecer en forma de impulsos blancos o negros.

$$g(x, y) = \begin{cases} \eta(x, y) & \text{con probabilidad } p \\ f(x, y) & \text{con probabilidad } 1 - p \end{cases}$$

- Los impulsos pueden tener valores prefijados (v.g.: 0 ó 255) o pueden tener una distribución de probabilidad de “cola larga”

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión de la imagen



Sal y pimienta

CVIPTools: <http://cviptools.ece.siu.edu/>



## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

4

### Ruido

- Definición
- Tipos de ruido
- Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
- Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
- Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
- Supresión del ruido

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen (1/4)

- Se genera para valorar la **robustez** de un algoritmo en presencia de ruido.
- Se introduce ruido **impulsivo**, **aditivo** o **multiplicativo**.
- Se suele utilizar el **ruido blanco** (*white noise*)
  - Tien una potencia espectral constante, es decir, su intensidad no decrece cuando aumenta la frecuencia.
  - Este ruido tiene de media cero y no está correlado.
  - Es una aproximación ideal del ruido que puede degradar las imágenes, porque su uso simplifica los cálculos.

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido impulsivo)

- **Puntos ruidosos**
  - *Sus niveles de intensidad son muy diferentes a los valores de los puntos de su vecindario.*
  - *Se distribuyen uniformemente por toda la imagen*
- *Ruido frecuente durante la transmisión de la imagen.*

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido uniforme



Imagen sin ruido



$\sigma = 5$



$\sigma = 10$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido gaussiano)

- *Función de densidad de probabilidad*

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

*donde*

- $\mu$ : *media*
- $\sigma$ : *desviación típica*

## Ruido

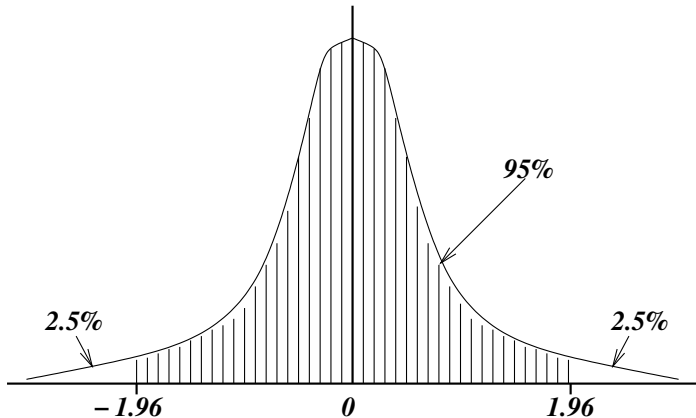
Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido gaussiano: características

- Es una muy buena aproximación al ruido que ocurre en muchos casos prácticos.
- El ruido gaussiano de media cero se suele utilizar para generar ruido aditivo **blanco**.

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen



Distribución gaussiana

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido gaussiano



Imagen sin ruido



$\mu = 0, \sigma = 5$



$\mu = 0, \sigma = 10$



## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido exponencial)

- *Función de densidad de probabilidad:*

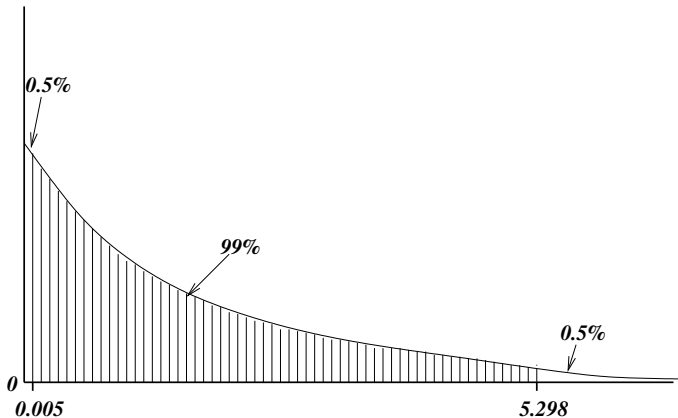
$$p(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{para } x \geq 0$$

donde

- *la media de la distribución es  $\frac{1}{\lambda}$*
- *y la varianza  $\frac{1}{\lambda^2}$ .*

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen



Distribución exponencial

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido exponencial



Imagen sin ruido



$\sigma = 5$



$\sigma = 10$

## Ruido

### Supresión del ruido

4

#### Ruido

- Definición
- Tipos de ruido
- Ruido provocado durante la adquisición de la imagen
- Ruido provocado durante la transmisión de la imagen
- Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen
- Supresión del ruido

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Supresión del ruido

- Las técnicas de **supresión** del ruido están estrechamente relacionadas con los algoritmos de **suavizado y mejora** de la imagen.

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Supresión del ruido

- **Técnicas globales:** operan sobre toda la imagen en conjunto.
  - Promediado en la adquisición de la imagen.
  - Procesamiento en el dominio de la frecuencia.
- **Técnicas locales o espaciales:** el valor de un punto depende de los puntos de su vecindario.
  - Filtros lineales.
  - Filtros no lineales.

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Supresión del ruido: filtros espaciales

- Aunque todas las técnicas suprimen el ruido satisfactoriamente, se prefieren los **filtros espaciales**:
  - En general, tienen un **mejor rendimiento** con un menor coste en memoria y en tiempo de ejecución.
  - Sin embargo, **no existe** un único **filtro lineal** o no lineal que sea **óptimo** para todas las imágenes.

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Supresión del ruido

- **Técnicas locales o espaciales:**
  - Filtros lineales.
    - Filtro del punto medio (*midpoint filter*).
    - *Filtro de la media aritmética (filtro paso bajo)*.
  - Filtros no lineales:
    - Filtro de la mediana.
    - Filtros del máximo y del mínimo.
    - Filtro de la media geométrica.
    - Filtro de la media armónica.
    - Filtro de la media contra - armónica.



## Ruido

Supresión del ruido

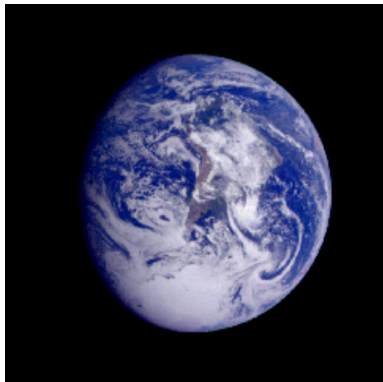


Imagen original



Imagen con ruido gaussiano

CVIPTools: <http://cviptools.ece.siu.edu/>

## Ruido

Supresión del ruido



Mediana  $3 \times 3$



Mediana  $5 \times 5$

CVIPTools: <http://cviptools.ece.siu.edu/>

## Ruido

Supresión del ruido



Sal y pimienta



Mediana  $3 \times 3$



Mediana  $5 \times 5$

CVIPTools: <http://cviptools.ece.siu.edu/>

## Realce de la imagen (incompleto)

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)**
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

- 5 Realce de la imagen (incompleto)
  - Introducción
  - Modificaciones en la escala de grises
  - Realce de la nitidez de la imagen \*
  - Suavización de la imagen \*

## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Definición (Realce de la imagen)

- *Proceso que permite aplicar técnicas o métodos auxiliares que facilitan la obtención de una solución de un problema de visión por computador.*

## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Realce de la imagen

- Aplicaciones
  - Preprocesamiento:
    - Facilitar la ejecución de pasos posteriores de un algoritmo.
  - Postprocesamiento:
    - Mejorar la percepción visual de una imagen procesada.

## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Realce de la imagen

- Objetivos de los métodos auxiliares:
  - Atenuar la degradación de la imagen: ruido, compresión,...
  - Aumentar la calidad de la imagen: nitidez, contraste, ...



## Realce de la imagen (incompleto)

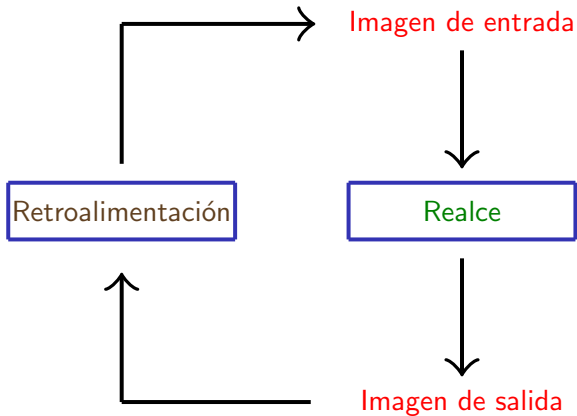
### Introducción

#### Realce de la imagen

- Características:
  - Depende de la aplicación específica que se esté ejecutando.
  - Generalmente, se desarrolla de manera empírica.

## Realce de la imagen (incompleto)

Introducción



## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Realce de la imagen

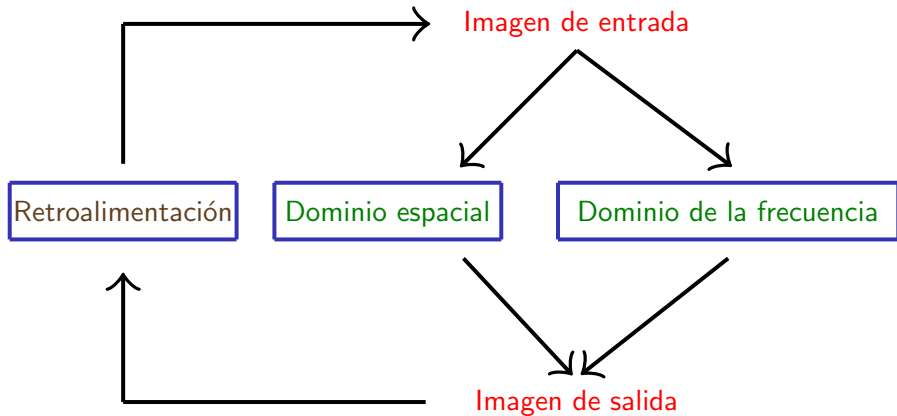
- Dominio de aplicación
  - Dominio espacial:
    - Se procesan puntos o píxeles.
  - Dominio de la frecuencia:
    - Se modifican componentes espectrales.

#### Nota

*Algunos métodos utilizan ambos dominios espacial y de la frecuencia.*

## Realce de la imagen (incompleto)

Introducción



## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Realce de la imagen

- Tipos de operaciones
  - Operaciones sobre los puntos:
    - Cada punto o píxel es modificado según una ecuación particular que no depende de los valores de los otros puntos.
  - Operaciones sobre máscaras:
    - Cada punto o píxel es modificado según los valores de un pequeño vecindario (*sub-imagen*).
  - Operaciones globales:
    - Tienen en cuenta todos los puntos de la imagen.

## Realce de la imagen (incompleto)

### Introducción

#### Realce de la imagen

- Tipos de operaciones
  - Operaciones en el dominio espacial:
    - Utiliza los tres tipos de operaciones: sobre puntos o máscaras y operaciones globales
  - Operaciones en el dominio de la frecuencia:
    - por naturaleza, utiliza operaciones globales
    - Se pueden aplicar operaciones sobre máscaras si se utiliza una *sub-imagen*.

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

- 5 Realce de la imagen (incompleto)
  - Introducción
  - Modificaciones en la escala de grises
    - Introducción
    - Ecuación de transformación
    - Modificación del histograma
  - Realce de la nitidez de la imagen \*
  - Suavización de la imagen \*

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Definición (Modificaciones en la escala de grises)

- *Proceso que transforma los valores originales de los niveles de gris para mejorar la imagen.*

### Nota

*También se denomina escalado a nivel de gris o transformación del nivel de gris.*



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificaciones en la escala de grises

- Generalmente, intentan mejorar el brillo y el contraste de la imagen
  - Contraste: es una medida de la distribución del rango de los niveles de gris
    - Diferencia entre el valor del pixel más brillante y el más oscuro.
    - Distribución de los valores intermedios
  - Brillo
    - Hace referencia al valor global medio de los niveles de gris de la imagen.

### Nota

*Dependiendo de la aplicación, se deben incrementar o decrementar el contraste, el brillo o ambos.*

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Definición (Ecuación de transformación)

- *Usa una función matemática para cambiar el nivel de gris de un punto.*
- *La función recibe como parámetro el valor de brillo (nivel de gris) del punto*
- *La salida es el valor de gris modificado.*

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Definición (Ecuación de transformación)

$$I'(x, y) = t(I(x, y))$$

donde

- $I(x, y)$ : nivel de gris del punto  $(x, y)$
- $t()$ : función de transformación
- $I'(x, y)$ : nuevo nivel de gris del punto  $(x, y)$

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ecuación de transformación

- Generalmente, la función de transformación es lineal

$$I'(x, y) = a \times I(x, y) + b$$

- Las transformaciones no-lineales se pueden modelar mediante modelos lineales definidos por partes

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ecuación de transformación

- Tipos de transformaciones
  - Comprimir el rango de niveles de gris.
  - Estirar el rango de niveles de gris.
  - Recortar el rango de niveles de gris
  - Negativo digital (equivalente a la operación lógica *NOT*)

## Realce de la imagen (incompleto)

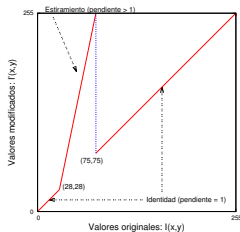
Modificaciones en la escala de grises

### Nota

*Estas transformaciones se puede aplicar de forma independiente a intervalos de los niveles de gris.*

## Realce de la imagen (incompleto)

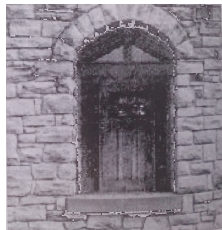
Modificaciones en la escala de grises



(a) Transformación



(b) Imagen original

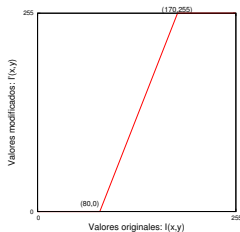


(c) Imagen modificada

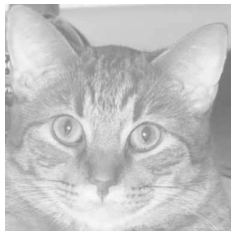
Estiramiento (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

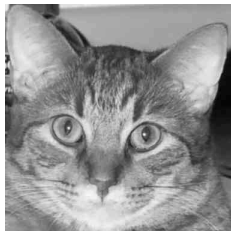
Modificaciones en la escala de grises



(a) Transformación



(b) Imagen original



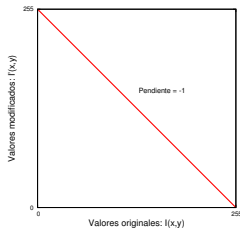
(c) Imagen modificada

Estiramiento y recorte (Umbugh 2011)



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



(a) Transformación



(b) Imagen original

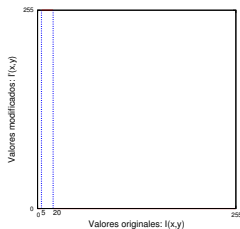


(c) Imagen modificada

Negativo digital (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



(a) Recorte del rango 15-20

(b) Imagen original

(c) Imagen modificada

Recorte (Umbaugh 2011)



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



(a) Imagen original



(b) Primera transformación



(c) Segunda transformación



(d) Imagen final ( b or c)

Transformación lineal por tramos (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ecuación de transformación

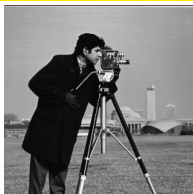
- Transformaciones no-lineales
  - Función logarítmica:

$$I'(x, y) = \log(I(x, y))$$

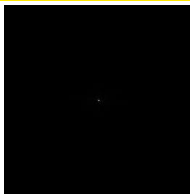
usada para mostrar imágenes espectrales donde el *rango dinámico* es muy grande.

## Realce de la imagen (incompleto)

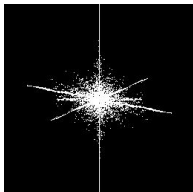
Modificaciones en la escala de grises



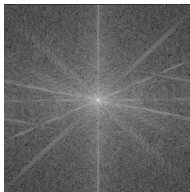
(a) Imagen



(b) Magnitud de Fourier



(c) Realce de b



(d) Log de b

Transformación logarítmica (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ecuación de transformación

- Transformaciones no-lineales

- *Power-law transform:*

$$I'(x, y) = K_1 \times I(x, y)^\gamma$$

donde  $K_1$  y  $\gamma$  son números reales positivos.

Modela el comportamiento de cámaras, pantallas e impresoras:

- Si  $\gamma > 1$  entonces la imagen aparecerá oscura
    - Si  $\gamma < 1$  entonces la imagen aparecerá clara
- *Gamma correction:*

$$I'(x, y) = K_2 \times I(x, y)^{1/\gamma}$$

donde  $K_2$  y  $\gamma$  son números reales positivos.

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Definición (Modificación del histograma)

- *Transformación que modifica el rango o la forma del histograma.*

### Nota

*La modificación del histograma es una herramienta más intuitiva si se desea mejorar el **contraste** de la imagen.*



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Operaciones sobre el histograma
  - Desplazamiento.
  - Estrechamiento.
  - Estiramiento.
  - Estiramiento y recorte.
  - Ecuación.
  - Especificación

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Desplazamiento del histograma

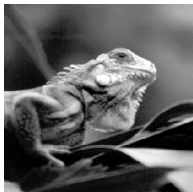
$$I'(x, y) = I(x, y) + OFFSET$$

donde *OFFSET* es el desplazamiento de los niveles de gris

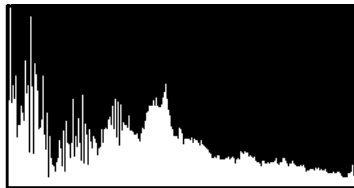
- *OFFSET* > 0: la imagen será más clara
- *OFFSET* < 0: la imagen será más oscura

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



(a) Imagen

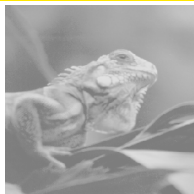


(b) Histograma

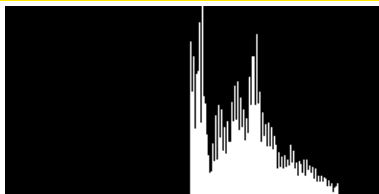
Histograma de una imagen (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

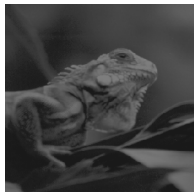
Modificaciones en la escala de grises



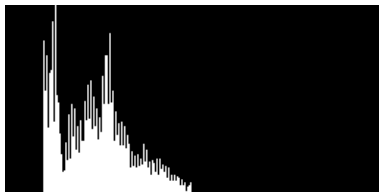
(a) 50 niveles hacia arriba



(b) Histograma de a



(c) 50 niveles hacia abajo



(d) Histograma de c

Desplazamientos del histograma (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Estrechamiento del histograma

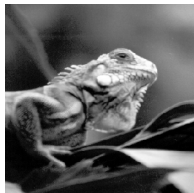
$$I'(x, y) = \left( \frac{MAX' - MIN'}{I(x, y)_{MAX} - I(x, y)_{MIN}} \right) (I(x, y) - I(x, y)_{MIN}) + Nuevo - MIN'$$

donde

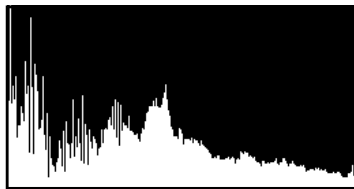
- $I(x, y)_{MAX}$ : nivel de gris más grande de la imagen
- $I(x, y)_{MIN}$ : nivel de gris más pequeño de la imagen
- $MAX'$ : nuevo máximo nivel de gris
- $MIN'$ : nuevo mínimo nivel de gris

## Realce de la imagen (incompleto)

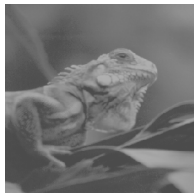
Modificaciones en la escala de grises



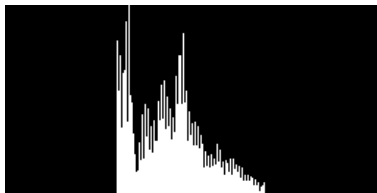
(a) Imagen original



(b) Histograma de a



(c) Estrechamiento de rango: [75-175] (d) Histograma de c  
Estrechamiento del histograma (Umbaugh 2011)



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Estiramiento del histograma

$$I'(x, y) = \left( \frac{I(x, y) - I(x, y)_{MIN}}{I(x, y)_{MAX} - I(x, y)_{MIN}} \right) (MAX - MIN) + MIN$$

donde

- $I(x, y)_{MAX}$ : nivel de gris más grande de la imagen.
- $I(x, y)_{MIN}$ : nivel de gris más pequeño de la imagen.
- $MAX$ : máximo nivel de gris posible (e.g.: 255).
- $MIN$ : mínimo nivel de gris posible (e.g.: 0).

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



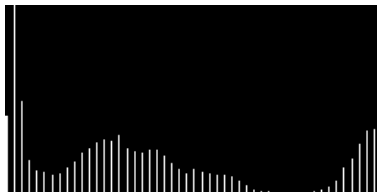
(a) Imagen original



(b) Histograma de a



(c) Estiramiento de a  
Estiramiento del histograma (Umbaugh 2011)



(d) Histograma de c



## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



(a) Imagen



(b) Histograma

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



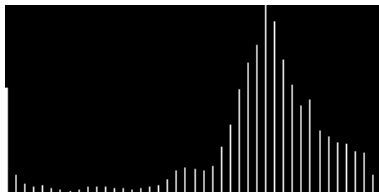
(a) Estiramiento sin recorte



(b) Histograma de a



(c) 1% de recorte y estiramiento



(d) Histograma de c

Recorte y estiramiento del histograma (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Ecuación del histograma
  - Es una técnica que distribuye los niveles de gris de la forma más uniforme posible.
  - Esta técnica esta basada en la teoría de probabilidades, tratando al histograma como una distribución de probabilidad de los niveles de gris.

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Modificación del histograma

- Ecuación del histograma: pasos
  - 1 Frecuencia absoluta: se cuenta el número de puntos para cada nivel de gris.
  - 2 Frecuencia absoluta acumulada: se acumulan los valores de la frecuencia absoluta.
  - 3 Se normalizan los valores de frecuencia absoluta acumulada.
  - 4 Se multiplican los valores normalizados por el máximo valor de nivel de gris y se redondean.
  - 5 Se modifican los valores de gris asignando los niveles de gris ecualizados.

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ejemplo (Ecuación del histograma)

Nivel de gris	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Ecuación
0	10	10	1
1	8	18	2
2	9	27	4
3	2	29	4
4	14	43	6
5	1	44	6
6	5	49	7
7	2	51	7

$$\text{Ecuación}(3) = \text{redondear} \left( 7 \times \frac{29}{51} \right) = \text{redondear}(3,980392157) = 4$$

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises

### Ejemplo (Ecuación del histograma)

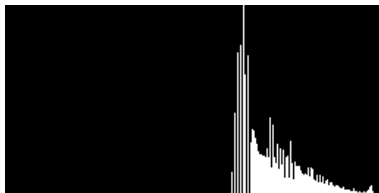
<i>Nivel de gris</i>	<i>Histograma original</i>	<i>Histograma ecualizado</i>
0	10	0
1	8	10
2	9	8
3	2	0
4	14	11
5	1	0
6	5	15
7	2	7

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



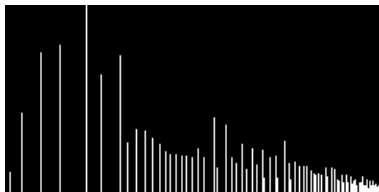
(a) Imagen clara



Histograma



(b) Imagen ecualizada

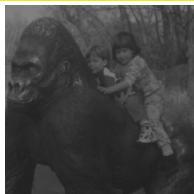


Histograma ecualizado

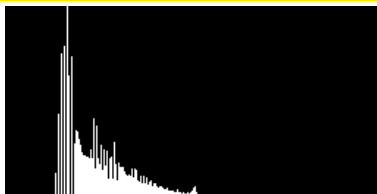
Ecualización del histograma (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



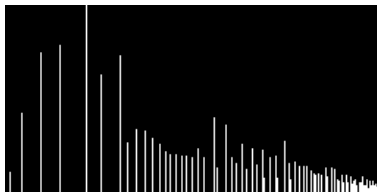
(c) Imagen oscura



Histograma



(d) Imagen ecualizada



Histograma ecualizado

Ecuación del histograma (Umbaugh 2011)

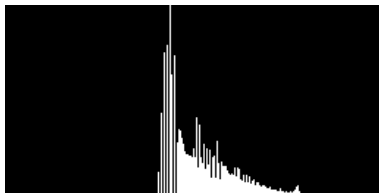


## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



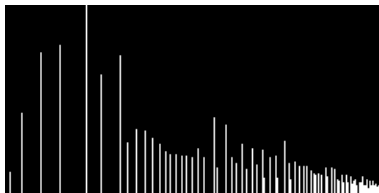
(e) Imagen con poco contraste



Histograma



(f) Imagen ecualizada

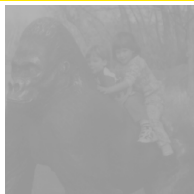


Histograma ecualizado

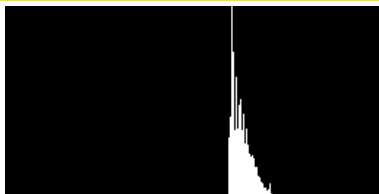
Ecualización del histograma (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Modificaciones en la escala de grises



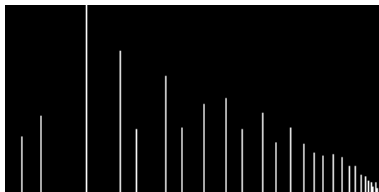
(g) Imagen con muy poco contraste



Histograma



(h) Imagen ecualizada



Histograma ecualizado

Ecuación del histograma (Umbaugh 2011)

## Realce de la imagen (incompleto)

Realce de la nitidez de la imagen \*

- 5 Realce de la imagen (incompleto)
  - Introducción
  - Modificaciones en la escala de grises
  - Realce de la nitidez de la imagen \*
  - Suavización de la imagen \*

## Realce de la imagen (incompleto)

Suavización de la imagen \*

- 5 Realce de la imagen (incompleto)
  - Introducción
  - Modificaciones en la escala de grises
  - Realce de la nitidez de la imagen \*
  - Suavización de la imagen \*

## Segmentación

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación**
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Segmentación

### Introducción

- 6 Segmentación
  - Introducción
  - Algoritmos orientados a regiones
  - Algoritmos orientados a los bordes

## Segmentación

### Introducción

#### Segmentación

- El análisis de la imagen requiere una **reducción** de la cantidad de información.
- La **segmentación** permite identificar las **partes significativas** de la imagen.

## Segmentación

### Introducción

#### Definición (Segmentación)

- *Proceso que permite identificar **regiones** que representen*
  - *objetos*
  - *o partes significativas de los objetos.*
- *Cada **región** debe*
  - *ser **homogénea***
  - ***diferenciarse** de las regiones adyacentes y del fondo,*
  - *tener una gran relación con un **elemento del mundo real.***



## Segmentación

### Introducción

#### Definición (Segmentación)

*Descomposición de la imagen  $X$  en regiones  $R_1, \dots, R_N$  tal que:*

$$X = \bigcup_{i=1}^N R_i$$

$$R_i \cap R_j = \emptyset$$

$$P(R_i) = \text{Verdadero}$$

$$P(R_i \cup R_j) = \text{Falso}$$

$$i \neq j$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

$$i \neq j$$

donde

- $R_i$ : región o parte *significativa* la imagen
- $P()$ : predicado lógico que indica un *criterio de homogeneidad*

## Segmentación

### Introducción

#### Segmentación: propiedades

- **Similitud:** los puntos de una región deben tener **valores similares** de una propiedad:
  - Nivel de gris
  - Color
  - Textura
  - Etc.
- **Conectividad:** los puntos de una región han de estar **conectados** entre sí.
- **Discontinuidad:** las regiones se deben diferenciar del fondo y tener unos **bordes definidos**.

## Segmentación

### Introducción

#### Segmentación: dificultades

- **Similitud:** la **iluminación** influye en que los puntos de un componente de la imagen **no** tenga **valores similares**: brillo, ruido, etc.
- **Conectividad:** las **oclusiones** u ocultamientos parciales pueden impedir que puntos de un mismo componente estén conectados entre sí.
- **Discontinuidad:** los **bordes** pueden no estar bien definidos (contornos no cerrados o con bucles).

## Segmentación

### Introducción

#### Segmentación: tipos de algoritmos

- Orientados a las **regiones** (*Region-based methods*)
- Orientados a los **bordes** (*Edge-based methods*)
- Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

- 6 Segmentación
  - Introducción
  - Algoritmos orientados a regiones
    - Umbralización de regiones
    - Crecimiento de regiones
    - Partición y fusión de regiones
  - Algoritmos orientados a los bordes

## Segmentación

### Algoritmos orientados a regiones

#### Algoritmos orientados a regiones

- Intentan detectar las **regiones** ocupadas por los objetos presentes en una imagen.
- Cada **región** está compuesta por puntos con
  - **propiedades homogéneas**
  - y **diferentes** a las del resto de las regiones y del fondo.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Algoritmos orientados a regiones

#### Tipos

- Umbralización de regiones
- Crecimiento de regiones
- Partición y fusión de regiones
- Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Umbralización de regiones

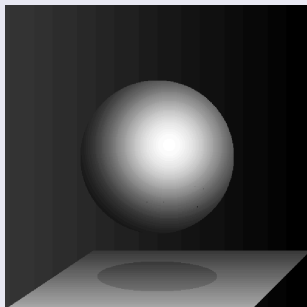
- Método muy **simple**.
- Computacionalmente **eficiente**.
- Muy **útil** si la imagen está formada por **objetos** que **constrastan** con el **fondo**.



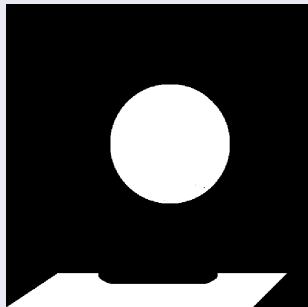
## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Ejemplo (Umbralización de regiones)



*Imagen*

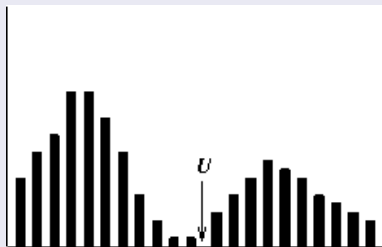


*Imagen umbralizada*

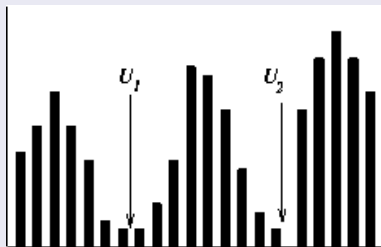
## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Ejemplo (Umbralización de regiones)



*Histogramas: (a) bimodal*



*(b) trimodal*

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Umbralización de regiones

- Histograma **bimodal**
  - Lo genera una imagen con un **objeto claro** sobre un **fondo oscuro**.
  - **Acumulación de la izquierda**: corresponde al **fondo** de la imagen.
  - **Acumulación de la derecha**: asociada al **objeto**.
  - **Zona de transición**: valle que establece el límite de **separación** entre el objeto y el fondo.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Umbralización de regiones

- Histograma **bimodal**
  - Los puntos con un nivel de intensidad **menor** que dicho umbral pertenecerán al **fondo** de la imagen.
  - El **resto** de puntos formarán parte del **objeto**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Nota (Umbralización de regiones)

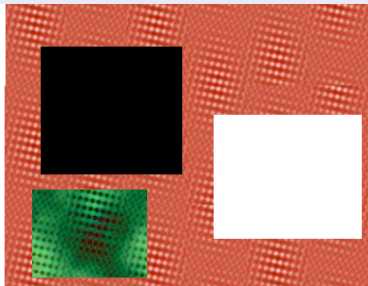
- **Dificultades**

- Una imagen *no* siempre tiene un *único* objeto sobre el fondo.
- Cada *objeto* debe estar formado por puntos con un *rango* de niveles de intensidad *distinto* al de los demás objetos y al del fondo.
- Los objetos también se caracterizan por *propiedades distintas* al nivel de intensidad, como, por ejemplo, su *textura*.

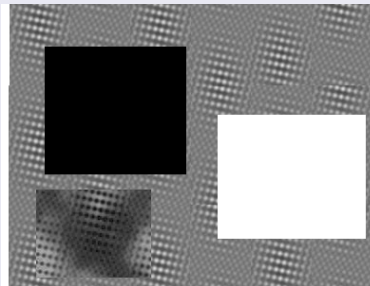
## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Ejemplo (Imágenes con texturas)



*Color*



*Monocromática*

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Umbralización de regiones

#### Algoritmo general

- Sea  $f$  una imagen formada por  $N$  objetos  $O_1, O_2, \dots, O_N$ , (uno de ellos es el fondo).
- Seleccionar  $N - 1$  **umbrales**  $U_1, U_2, \dots, U_{N-1}$  a partir del histograma.
- Generar una nueva imagen  $g$

$$g(x, y) = \begin{cases} g_1 & \text{si } 0 \leq f(x, y) < U_1 \\ g_2 & \text{si } U_1 \leq f(x, y) < U_2 \\ \vdots & \\ g_N & \text{si } U_{N-1} \leq f(x, y) \leq 255 \end{cases}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Umbralización de regiones: tipos de algoritmos

- **Global**

- Calcula un **único umbral** a partir de los valores de todos los puntos:  $f(x, y)$ .
- Útil si el **contraste** de los objetos frente al fondo es relativamente constante.

- **Local o adaptativa**

- También utiliza **propiedades locales** de los puntos.
- Por ejemplo: **valor medio de intensidad** de un **vecindario** centrado en cada punto.

- **Dinámica**

- Además, tiene en cuenta las **coordenadas** de cada punto:  $(x, y)$ .



## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Nota (Umbralización de regiones: tipos de algoritmos)

Los algoritmos *locales* y *dinámicos* son útiles cuando

- el *fondo* de la imagen **varía** a lo largo de ésta.
- el *contraste* de los objetos es **cambiante**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

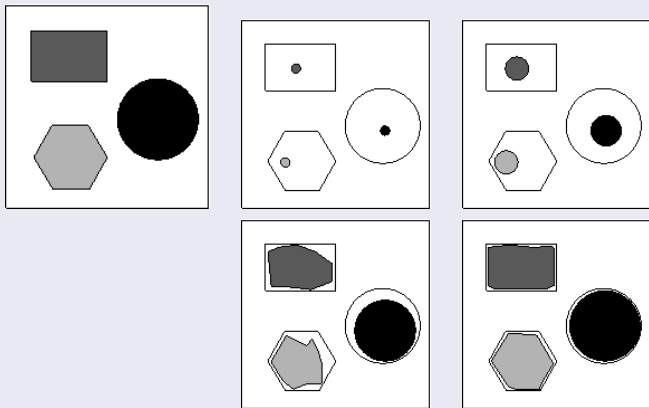
### Crecimiento de regiones

- 1 **Fase inicial:** regiones iniciales del tamaño de un punto (*semillas*).
- 2 **Crecimiento:** cada punto se **añade** a la **región** contigua con **propiedades similares** (nivel de gris, color, textura, etc.).
- 3 **Comprobación de fronteras adyacentes:** **medida de consistencia**.
  - Frontera **fuerte**: propiedades *medias* son sensiblemente diferentes.
  - Frontera **débil**, en caso contrario.
  - Las fronteras débiles se **eliminan**, permitiendo la unión de las regiones a las que separaban.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Ejemplo (Crecimiento de regiones)



## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Crecimiento de regiones

- **Dificultades implícitas**
  - **Elección de las semillas**
    - Cada región debe tener al menos *una semilla representativa*.
    - Cada semilla debe estar situada *dentro* del contorno de la región a la que representa.
  - **Complejidad:**
    - Se deben elegir adecuadamente las *propiedades* y los *criterios* que controlarán el crecimiento de las regiones.
- **Ventaja**
  - **Robustez:**
    - Ofrecen una *mejor respuesta* en presencia de **ruido**.
    - En este criterio, *superan* a los algoritmos de detección de bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

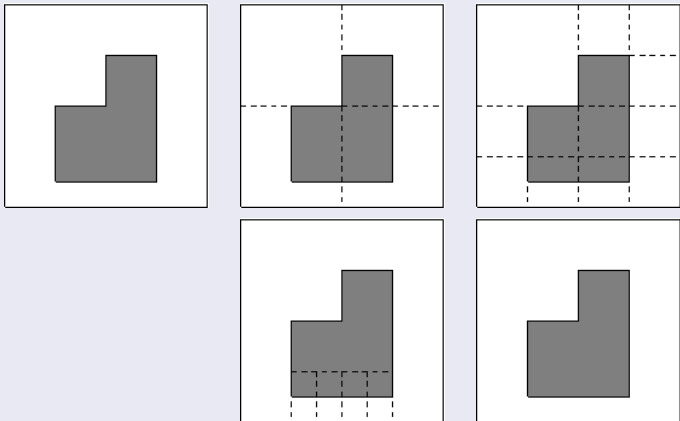
### Partición y fusión de regiones

- 1 **Fase inicial:** la imagen original se considera que es una **región**.
- 2 **Comprobación**
  - (a) Si  $P(R) = \text{falso}$  entonces **partición**
    - (i)  $R$  se divide en 4 regiones de igual tamaño:  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_4$
    - (ii) Para cada región  $R_i$  ( $i \in \{1, \dots, 4\}$ ) se repite el paso 2.
  - (b) Si  $P(R) = \text{verdadero}$  entonces **fusión**
    - (i) Si  $R$  es **adyacente** a  $R_i, \dots, R_j$ ,  
 $P(R_i) = \text{verdadero}, \dots, P(R_j) = \text{verdadero}$  y  
 $P(R \cup R_i \cup \dots \cup R_j) = \text{verdadero}$  entonces se **fusionan** en una nueva región  $R' = R \cup R_i \cup \dots \cup R_j$ .
    - (ii) Se **comprueba** si la nueva región  $R'$  se puede fusionar con otras regiones adyacentes (paso 2 b).

## Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

### Ejemplo (Partición y fusión de regiones)



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

- 6 Segmentación
  - Introducción
  - Algoritmos orientados a regiones
  - Algoritmos orientados a los bordes
    - Introducción
    - Detección de bordes en imágenes monocromáticas
    - Detección de bordes en imágenes en color
    - Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

## Segmentación

### Algoritmos orientados a los bordes

#### Algoritmos orientados a los bordes

- **Introducción**
- Detección de bordes en imágenes monocromáticas.
- Detección de bordes en imágenes en color.
- Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Introducción

#### Los algoritmos orientados a los bordes

- Tratan de **extraer** los objetos de la imagen localizando sus contornos o fronteras.
- **Generan** como salida una imagen denominada **mapa de bordes**.
- El **mapa de bordes** puede incluir información explícita sobre
  - la **posición**
  - la fuerza o intensidad
  - la orientación

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Imagen en color



Mapa de bordes

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Introducción

#### Relevancia de los bordes

- Los **bordes** contienen una **información esencial** de la imagen.
- Muy usados en **tareas** del procesamiento digital de imágenes:
  - Realce de imágenes
  - **Segmentación de imágenes**
  - Compresión de imágenes
  - Reconocimiento de objetos
  - Reconstrucción 3D
  - Etc.
- El **rendimiento** de estas tareas depende de la **precisión** con la que los bordes sean detectados.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

**Definición** (Borde)

**Discontinuidad** *en algún atributo de la imagen*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Introducción

#### Atributos utilizados en la detección de bordes

- Intensidad luminosa de los **niveles de gris** de la imagen:  
atributo más utilizado
- **Color**: importancia
  - Proporciona **más información** que una imagen monocromática.
  - La información adicional del color es **relevante**.
  - Permite detectar bordes provocados por **cambios de tono (hue)** de color pero con un mismo nivel de intensidad luminosa.
  - La detección de bordes en color **supera** a la detección monocromática de bordes si el **contraste bajo**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Introducción

#### Causas físicas de los bordes

- Iluminación
- Reflejos
- Sombras
- Geometría de los objetos
- Profundidad de los objetos en la escena
- Ocultaciones parciales de los objetos
- Textura de los objetos
- Cambios de color
- Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

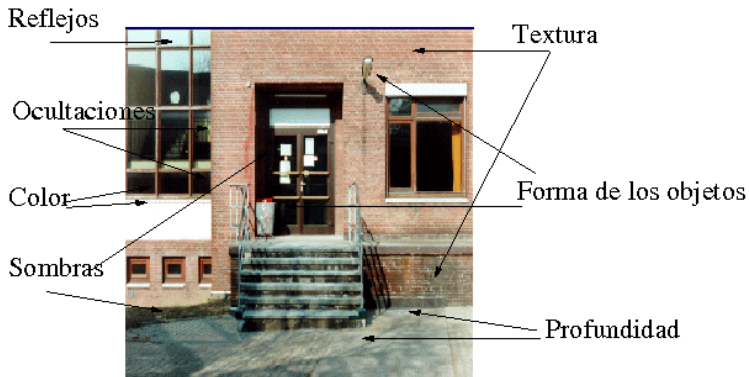


Imagen en color con bordes provocados por diferentes motivos.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- Introducción
- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas.**
- Detección de bordes en imágenes en color.
- Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos.
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

**Definición** (Bordes de las imágenes monocromáticas)

Se corresponden con los *cambios o discontinuidades* de la **función de intensidad** de los niveles de gris.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Borde de tipo escalón

- Aparece cuando **coinciden** dos **regiones** homogéneas con niveles de gris muy **diferentes** entre sí.
- El **borde** se **sitúa** en el punto en el cual la **discontinuidad** de los niveles de gris se produce.
- La **mayoría** de los detectores de bordes han sido **diseñados** para este tipo de bordes
- Se **caracteriza** por su ruido, contraste, pendiente y anchura.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

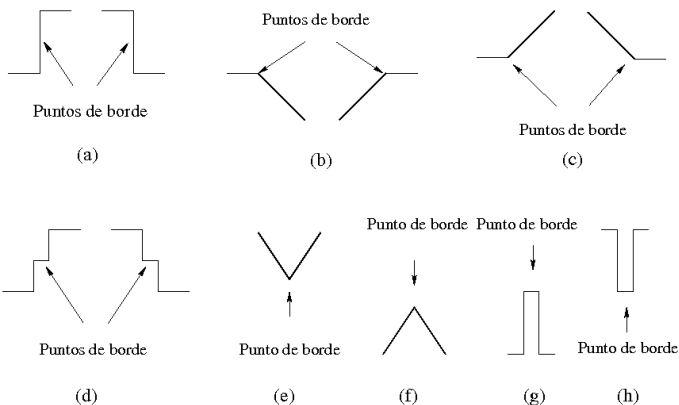
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Tipos de bordes

- Escalón o salto (*step edge*).
- Rampa (*ramp edge*):
  - Con pendiente cóncava (*concave slope*)
  - Con pendiente convexa (*convex slope*)
  - o con ambas
- Escalera (*staircase edge*).
- Pico (*peak edge*), cresta (*ridge edge*) o pulso (*pulse edge*).
- Valle (*valley edge*).
- Tejado (*roof edge*).

## Segmentación

### Algoritmos orientados a los bordes



Tipos de bordes: (a) escalón o salto, (b) rampa convexa, (c) rampa cóncava, (d) escalera, (e) valle, (f) tejado, (g) y (h) pico o pulso

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Tipos de bordes según la forma geométrica**

- Líneas rectas con cualquier dirección
- Líneas curvas
- Uniones (*junctions*)
- Esquinas (*corners*)



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

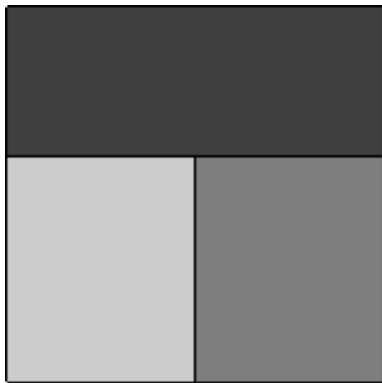


Imagen con un borde del tipo T-unión

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos.
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos**

- Autónomos
- Contextuales

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos

- **Autónomos**
  - **No utilizan ningún conocimiento a priori:** ni del sistema de visión ni información contextual.
  - **Procesamiento local:** bordes identificados mediante el análisis de los puntos de su entorno.
  - **Flexibles:** no limitados a imágenes específicas y apropiados para sistemas de visión de propósito general.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos

- **Contextuales**

- Utilizan conocimiento *a priori* del borde o la escena que van a procesar.
- *Dependen* de los resultados de otros componentes del sistema de visión.
- Están limitados a un *contexto preciso* donde las imágenes procesadas siempre incluyen los mismos objetos.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota (Detectores de bordes contextuales)

*Los detectores de bordes **contextuales** que han sido propuestos son **muy pocos** en comparación con los autónomos.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos.
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *La mayoría de los algoritmos de detección de bordes en imágenes monocromáticas han sido diseñados para bordes de tipo **salto o escalón***
- *También se han diseñado algoritmos específicos para la detección de **líneas, uniones y esquinas.***



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

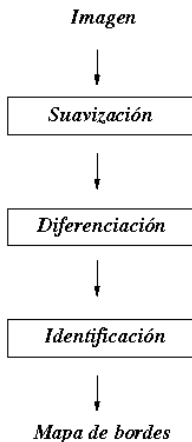
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Fases

- **Suavización:** atenuar el ruido de la imagen para asegurar una correcta detección de los bordes.
- **Diferenciación:** calcular las derivadas de la imagen para resaltar las características de los bordes.
- **Identificación:** localizar los bordes reales y suprimir los falsos bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Fases de la detección de bordes

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Otros modelos

- Ajuste paramétrico
- Morfología matemática
- Análisis de texturas
- Teoría de conjuntos borrosos
- Redes neuronales
- Algoritmos genéticos
- Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Se dice que un problema matemático está “bien planteado” si

- Tiene **solución**
- La solución es **única**
- Es **robusto** frente al ruido

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *Diferenciación numérica de la imagen*
  - *Problema mal planteado porque su solución no es robusta frente al ruido.*
- *Solución*
  - *La suavización sirve para regularizar la imagen, provocando que la operación de diferenciación esté bien planteada.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *Estas tres operaciones están estrechamente relacionadas:*
  - *La suavización **regulariza** la diferenciación*
  - *La identificación de los bordes **depende** del funcionamiento de las otras dos operaciones.*
- *Si la etapa de suavización **reduce** el ruido sin pérdida de información, la **supresión de bordes falsos** se puede hacer más fácilmente.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- El *diseño* de un detector de bordes usando estas tres operaciones es *incompleto*
- Sería deseable
  - seleccionar una *aplicación concreta* en la que vaya a ser usado el detector de bordes.
  - tener en cuenta la *escala*.
  - considerar las características de los *tipos* de bordes que haya que detectar.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos.
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detectores de bordes monocromáticos

#### Suavización

- Permite que la diferenciación de la imagen sea más **robusta** frente al ruido.
- Se debe establecer la **resolución** o **escala**.
- **Dilema**: reducción de ruido o pérdida de información.
- **Objetivo**: diseñar el detector de bordes que **asegure** la reducción de ruido y la conservación del borde.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Características de la suavización de la imagen

- **Efectos positivos:** reduce el ruido presente en la imagen y asegura una robusta detección de los bordes.
- **Efectos negativos:** pérdida de información.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Métodos de suavización más utilizados

- Filtros espaciales **lineales**, especialmente los filtros de **paso bajo** y el filtro de la **gaussiana**.
- Filtros de suavización mediante **aproximación**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos.
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- **Bordes:** puntos de la imagen en los que se producen **discontinuidades** o cambios bruscos en el nivel de intensidad.
- Los **cambios de intensidad** pueden ser acentuados mediante **operaciones de diferenciación**.
- **Resultado de la diferenciación:** representación de la imagen que facilita la **extracción** de las propiedades de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- **Métodos**

- Derivadas de primer orden (v.g.: el gradiente).
- Derivadas de segundo orden (v.g.: el laplaciano).
- Criterios de optimización.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

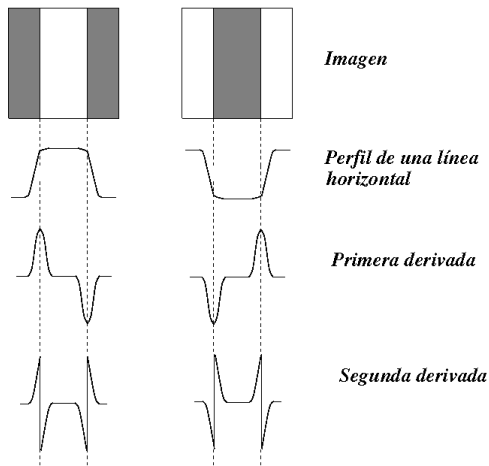
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- Identificación de los bordes:
  - Localización de los **extremos** (máximos o mínimos) de la **primera derivada** de la función de intensidad.
  - Localización de los **cruces por cero** (*zero crossings*) o transiciones de valores negativos a positivos, o viceversa, de la **segunda derivada** de la función de intensidad.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes





## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- Primera derivada
  - Siempre presenta un **extremo** (máximo o mínimo) en los puntos situados exactamente en un borde.
- Segunda derivada
  - Se produce un **cruce por cero** (*zero-crossing*) en un punto situado exactamente en el borde.
  - La función corta el eje de abscisas en dicho punto, pasando de un valor positivo a otro negativo, o viceversa.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- La **primera derivada** en un punto de la imagen es obtenida usando la **magnitud del gradiente**.
- La **segunda derivada** es obtenida usando el **laplaciano**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen

- **Gradiente:** vector  $\vec{\nabla}f(x, y)$  que indica la **dirección** de máxima variación de la función en dicho punto,

$$\vec{\nabla}f(x, y) = (G_x(x, y), G_y(x, y)) = \left( \frac{\partial f}{\partial x}(x, y), \frac{\partial f}{\partial y}(x, y) \right)$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: gradiente

- Magnitud

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}$$

- Dirección

$$\alpha(x, y) = \arctan \left( \frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \right)$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: gradiente

- Los puntos de la imagen que pertenecen a los **bordes** son aquéllos que dan un valor **máximo** en la magnitud del gradiente.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: gradiente

- Módulo del gradiente:
  - Operador invariante a rotaciones y no lineal.
  - Se calcula usando sólo las derivadas en  $x$  e  $y$ .

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: gradiente

- Para evitar la complejidad del cálculo de la **raíz cuadrada**, se pueden utilizar aproximaciones al módulo del gradiente.

- Suma:

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| \approx |G_x(x, y)| + |G_y(x, y)|$$

- Máximo

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| \approx \text{máximo}(|G_x(x, y)|, |G_y(x, y)|)$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

**Diferenciación de la imagen: operadores para calcular el gradiente**

$$\begin{bmatrix} \boxed{0} & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Roberts

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & \boxed{0} & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewitt

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & \boxed{0} & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & \boxed{-2} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Robinson

$$\frac{1}{15} \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & \boxed{0} & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

Kirsch

$$\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & \boxed{0} & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$$

Isotrópico



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Los operadores se definen usando las derivadas parciales:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \text{ y } \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}.$$

- Operadores de segundo orden más utilizados:
  - Operador laplaciano.
  - Derivadas direccionales de segundo orden en la dirección del gradiente.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Estos operadores son definidos por:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x, y) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x, y)$$

y

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \vec{n}^2}(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x, y)\cos^2(\alpha) + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x, y)\sin(\alpha)\cos(\alpha) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x, y)\sin^2(\alpha)$$

donde  $\vec{n}$  es la dirección del gradiente.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Localización de los bordes:
  - Puntos donde se producen los cruces por cero de las derivadas de segundo orden.
- Inconvenientes:
  - Suavizan demasiado la forma de la imagen: v. g., las esquinas nítidas se suelen perder.
  - Tienen a crear bordes con lazos cerrados (efecto de *lato de espagueti*).

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Formas del calcular el operador laplaciano

Utilizando la conectividad 4.

$$\nabla^2 f(x, y) \equiv f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y - 1) + f(x, y + 1) - 4f(x, y)$$

Utilizando la conectividad 8.

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) \equiv & f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y - 1) \\ & + f(x, y + 1) + f(x + 1, y + 1) + f(x + 1, y - 1) \\ & + f(x - 1, y + 1) + f(x - 1, y - 1) - 8f(x, y) \end{aligned}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Máscaras del operador laplaciano

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Conectividad 4

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

conectividad 8.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

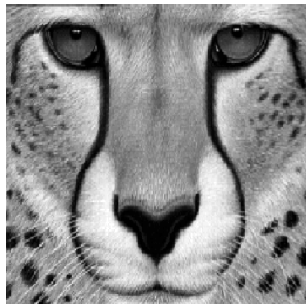


Imagen original

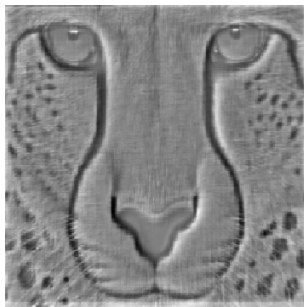


Imagen generada por el operador laplaciano (conectividad 4)

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Inconvenientes del operador laplaciano
  - Muy **sensible** al ruido (característica propia de los operadores de derivadas de segundo orden).
  - Produce **respuestas dobles** para un mismo borde.
  - **No** permite calcular la dirección del borde.

#### Nota

*Debido a estas razones, el operador **laplaciano** tiene generalmente un **papel secundario** como detector de bordes.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Mejora del operador laplaciano
  - Combinación con una operación de suavización que utilice la función gaussiana
  - Laplaciano de la función gaussiana (LoG)

$$\nabla^2(G(x, y) * f(x, y))$$

- Operadores lineales e intercambiables

$$(\nabla^2 G(x, y)) * f(x, y)$$



## Segmentación

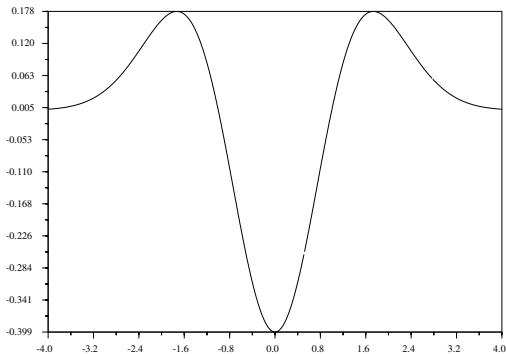
Algoritmos orientados a los bordes

### Nota

- *El laplaciano de la función gaussiana es independiente de la imagen.*
- *Puede ser computado previamente, reduciéndose la complejidad de la operación de composición.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Laplaciano de la función gaussiana ( $\sigma = 1$ )

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

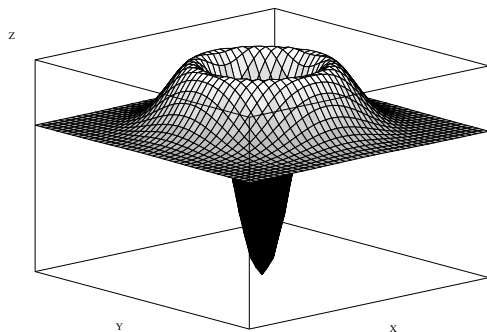
#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Versión unidimensional del laplaciano de la función gaussiana:

$$\nabla^2 G(x) = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left( 1 - \frac{x^2}{\sigma^2} \right) e\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Laplaciano bidimensional de la función gaussiana ( $\sigma = 1$ )

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Versión bidimensional del laplaciano de la función gaussiana.

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{-1}{2\pi\sigma^4} \left( 1 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right) e^{\left( -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right)}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden**

- Características del operador laplaciano de la función gaussiana.
  - Medida eficiente y estable de los cambios de la imagen.
  - La suavización de la función gaussiana elimina la influencia de los puntos situados a una distancia inferior a  $3\sigma$  del punto actual.
  - Bordes localizados en los puntos donde se producen cruces por cero.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota

*Algunos experimentos neurofisiológicos han evidenciado que la retina del ojo humano realiza operaciones muy similares a las realizadas por el laplaciano de la función gaussiana.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Detectores de bordes basados en criterios de optimización**

- Algoritmo de **Canny**
- Algoritmo de Deriche
- Algoritmo de Shen
- Algoritmo de Spacek



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Detectores de bordes basados en criterios de optimización**

- Problemas de la detección **óptima** de bordes:
  - La definición de los criterios de optimización.
  - El diseño de un detector que optimice estos criterios.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

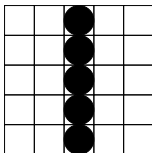
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Detectores de bordes basados en criterios de optimización

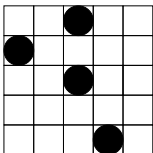
- Características propuestas por Canny para un buen detector de bordes:
  - **Buena detección:** debe encontrar todos los bordes que haya en la imagen pero sin incluir ningún punto espurio. (robusto en presencia de ruido).
  - **Buena localización:** la distancia entre los bordes detectados y los reales deber ser tan pequeña como sea posible.
  - **Unicidad de la respuesta:** no debe identificar múltiples bordes donde sólo hay uno.

## Segmentación

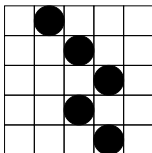
Algoritmos orientados a los bordes



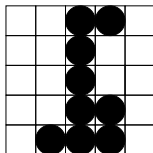
Borde real



Sensible al ruido



Pobre localización



Múltiples respuestas.

**Defectos en la detección de bordes**

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Detectores de bordes basados en criterios de optimización

- Operador de Canny:

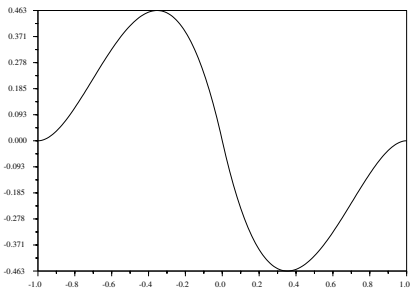
$$h(x) = e^{\alpha x}(a_1 \text{sen}(\omega x) + a_2 \text{cos}(\omega x)) \\ + e^{-\alpha x}(a_3 \text{sen}(\omega x) + a_4 \text{cos}(\omega x)) \\ - \frac{\lambda_1}{2}$$

- Primera derivada de la función gaussiana:

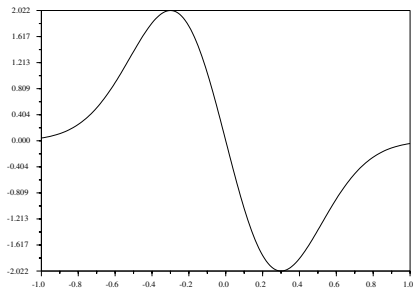
$$G'(x) = \frac{-x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Operador de Canny



Primera derivada de la función gaussiana ( $\sigma = 0,3$ )

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Detectores de bordes basados en criterios de optimización**

- Pasos de la extensión del operador de Canny a dos dimensiones:
  - Convolución de la imagen con un operador de una función gaussiana bidimensional simétrica.
  - Posterior diferenciación en la dirección del gradiente.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
  - Bordes de las imágenes monocromáticas.
  - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
  - Diseño los detectores de bordes monocromáticos
  - Suavización de la imagen.
  - Diferenciación de la imagen.
  - Identificación de los bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Objetivos:
  - Localización de los bordes.
  - Supresión de los bordes falsos.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### **Identificación de los bordes:**

- Técnicas secuenciales.
- Técnicas paralelas.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Técnicas secuenciales:
  - Un punto pertenece o no a un borde según los resultados obtenidos por el detector en algunos **puntos examinados previamente**.
  - Su funcionamiento depende:
    - de la elección del **punto inicial** apropiado
    - y del proceso de **selección del siguiente punto** que vaya a ser procesado.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Técnicas paralelas:
  - Un punto pertenece o no a un bordes según los valores de dicho punto y de su entorno.
  - Se puede aplicar **simultáneamente** a todos puntos de la imagen.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Métodos basados en el gradiente: puntos donde la magnitud del gradiente alcanza un máximo local.
- Métodos basados en las derivadas de segundo orden: puntos donde se produce un cruce por cero en dicha derivada.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes:

- Métodos basados en el gradiente:
  - Umbralización del histograma de niveles de gris.
  - Se genera una imagen binaria denominada **mapa de bordes**.
    - Un nivel de gris para los bordes (normalmente en blanco).
    - y otro para el resto de la imagen (en negro).

## Segmentación

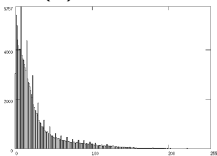
Algoritmos orientados a los bordes



(a) Imagen



(b) Suavización y diferenciación



(c) Histograma de (b)



(d) Umbralización ( $U = 50$ )

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Imagen binaria  $b(x, y)$  generada por umbralización:

$$b(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } g(x, y) < U \\ 1 & \text{si } g(x, y) \geq U \end{cases}$$

donde

- $g(x, y)$ : magnitud del gradiente en el punto  $(x, y)$
- $U$ : umbral seleccionado
- 0: color negro
- 1: color blanco.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Métodos de umbralización
  - **Global**: un único umbral para toda la imagen.
  - **Local o adaptativa**:
    - Se calcula un umbral para cada punto  $((x, y))$ .
    - Se tiene en cuenta sus propiedades locales.
    - Por ejemplo: valor medio de intensidad de un vecindario centrado en  $(x, y)$ .
  - **Dinámica**: además ,el umbral depende de las coordenadas  $(x, y)$  de cada punto.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Nota

*La mayoría de los métodos de detección de bordes han utilizado un **umbral global** pero también se han usado umbrales locales*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Fundamentos teóricos usados en la umbralización de un histograma:
  - El porcentaje de puntos de los bordes de los objetos respecto del total de la imagen.
  - La media y la varianza del ruido.
  - La búsqueda de mínimos.
  - La concavidad o convexidad del histograma .
  - La agrupación de clases o *clustering* del histograma.
  - Redes Neuronales.
  - Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Umbralización mediante **histéresis** (Canny):
  - Muy usado en la detección de bordes.
  - Selecciona dos umbrales: uno **inferior**  $U_i$  y otro **superior**  $U_s$ :
    - Si  $g(x, y) \geq U_s$  entonces  $(x, y)$  es considerado como **punto de borde**.
    - Si  $U_s > g(x, y) \geq U_i$  y está **conectado** a un punto de borde entonces  $(x, y)$  también es considerado como **punto de borde**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Umbralización mediante **histéresis** (Canny):
  - Un conjunto de puntos **conectados** es un borde:
    - si el valor de **todos** los puntos de la lista está por **encima** del **umbral inferior**.
    - y **al menos uno** está por **encima** del **umbral superior**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

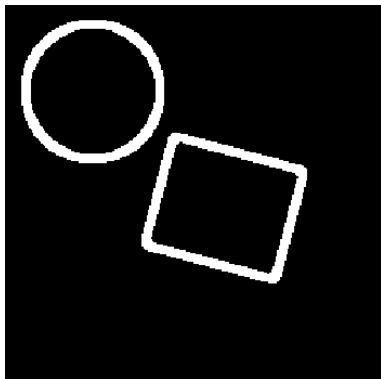
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

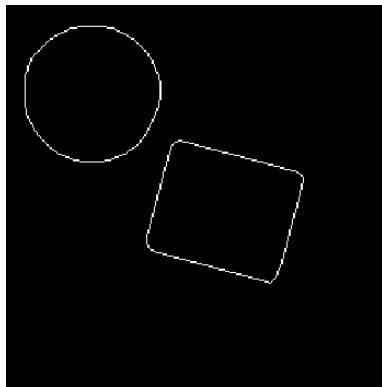
- Características de la umbralización:
  - **Ventajas**
    - Técnica sencilla.
    - Coste computacional muy bajo.
  - **Inconvenientes**
    - Si se elige un **umbral muy bajo**: bordes con **gruesos** (más de un punto de anchura).  
Es necesaria una fase posterior de **adelgazamiento** (*thinning*) o **equeletización** (*skeletization*).
    - Si se elige un **umbral muy alto**: bordes **desconectados** o **rotos**.  
Se requiere una fase de **enlazamiento** de bordes (*edge linking*).

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



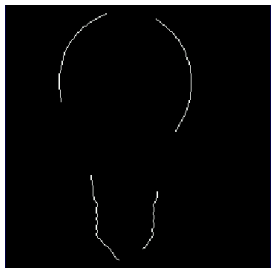
Bordes gruesos



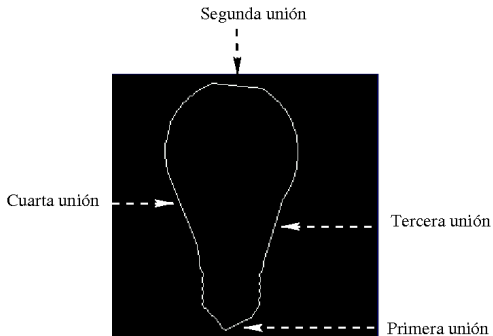
Bordes adelgazados

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes desconectados



Bordes conectados

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Supresión de no máximos locales:
  - Idea básica:
    - 1 **Suprimir** los puntos que **no** son máximos locales del módulo del gradiente.
    - 2 Umbralizar la imagen resultante
  - Evita el problema del adelgazamiento de los bordes.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

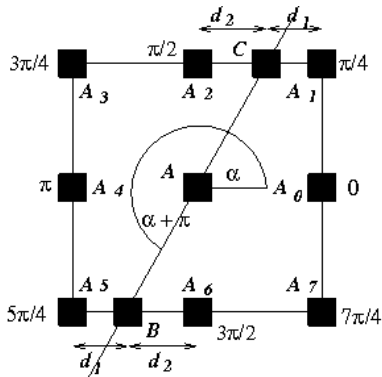
### Detección de bordes en imágenes monocromáticas

#### Identificación de los bordes

- Algoritmo de Canny (1.983) para la supresión de no máximos locales.
  - Localizar el máximo local a lo largo de la dirección del vector gradiente.
    - Determinar el **tamaño del vecindario** del punto que se va comprobar si es un máximo local.
    - **Interpolar** los valores del módulo del gradiente de los puntos del vecindario.  
en los que corte la recta que pasa por el punto central.  
y que tiene como dirección su vector gradiente.
    - Esta interpolación es necesaria puesto que los puntos obtenidos en la intersección pueden no ser reales.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Interpolación para suprimir no máximos locales

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



(a) Gradiente de una imagen



(b) Supresión de no máximos locales



(c) Umbralización de (b).

## Segmentación

### Algoritmos orientados a los bordes

#### Algoritmos orientados a los bordes

- Introducción.
- Detección de bordes en imágenes monocromáticas.
- **Detección de bordes en imágenes en color.**
- Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color.

## Segmentación

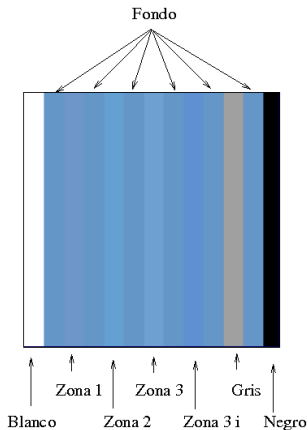
Algoritmos orientados a los bordes

### Definición (Bordes de imágenes en color)

- *Un borde de una imagen en color suele ser definido como una discontinuidad en el espacio tridimensional de color.*
- *Estas discontinuidades pueden ser producidas por cambios en una o en varias de las componentes del espacio de color.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes provocados por cambios en los planos de color

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

**Ejemplo** (Bordes provocados por cambios en los planos de color)

- **Zona 1:** cambio en el plano *rojo*
- **Zona 2:** cambio en los planos *verde* y *azul*
- **Zona 3:** cambio en los **tres** planos de color
- **Zona 3 i:** cambio en los **tres** planos de color, pero manteniendo el **nivel de intensidad**

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Criterios para clasificar los bordes de las imágenes en color

- su origen
- los cambios en un espacio vectorial
- la información de color de su alrededor



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Tipos de bordes de las imágenes en color según su origen

- Bordes provocados por formas geométricas.
- Bordes provocados por reflejos.
- Bordes provocados por sombra.
- Bordes provocados por cambios de materiales.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Definición (Bordes de imágenes en color)

*Si la imagen en color se considera como un espacio vectorial tridimensional entonces un borde es una discontinuidad significativa en dicho campo vectorial.*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Bordes de imágenes en color

Tipos de bordes provocados por los cambios en un espacio vectorial

- Tipo escalón: cambio abrupto en el campo vectorial.
- Tipo rampa: cambio gradual en el campo vectorial.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (1/3)

- Identifica el **perfil** de cada borde según las características de color que poseen los dos lados contiguos al borde.
- Caracterizan los **fenómenos físicos** que provocan los cambios de intensidad.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (2/3)

- **Albedo**: hay un cambio pero no existe ninguna discontinuidad sustancial de profundidad.
- **Oclusión** (*occlusion*):
  - Dos regiones de objetos diferentes se encuentran en el borde.
  - No existe ninguna sombra entre los dos objetos.
- **Sombra** (*shadow*): dos regiones pertenecen a una región homogénea de un objeto.
  - Una región se corresponde con la sombra proyectada por otro objeto.
  - La otra región está directamente iluminada por una fuente de luz.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

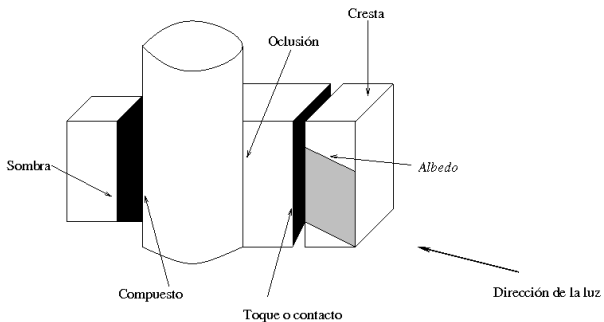
### Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (3/3)

- **Cresta** (*ridge*): dos regiones se juntan en una **cresta** o **valle** de un objeto.
- **Compuesto** (*compound*): dos objetos se solapan, proyectando uno de ellos su sombra sobre el otro.
- **Contacto** (*touch*):
  - Dos regiones pertenecen a dos objetos que se tocan o están muy próximos.
  - La iluminación es atenuada en el hueco que separa a los objetos.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes provocados por fenómenos físicos.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Requisitos para su diseño

- Seleccionar el espacio de color
- Seleccionar el filtro de suavización para atenuar el ruido
- Indicar los fundamentos teóricos en los que se basan:
  - Basadas en extensiones o variantes de técnicas monocromáticas,
  - Diseñadas específicamente para imágenes en color o multiespectrales.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Espacios de color usados por los detectores de bordes

- *RGB*: espacio de color más utilizado
- $YT_1T_2$ , *rgb* o el espacio de los colores contrarios (*opponent colors space*) ( $R - G, Y - B$ )
- *YIQ*: detección de bordes provocados sólo por cambios de color
- *HSV*: para evitar las reflexiones especulares
- Perceptualmente uniforme (*HSI* o *Lab*):
  - evitan la **correlación** de los planos de color de *RGB*
  - **separan** la información cromática de los niveles de iluminación o intensidad,
- Uso combinado de espacios de color: *HSI* y *RGB*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Suavización de imágenes en color

- Las imágenes en color también pueden contener **ruido**
- Tipos de métodos de atenuación del ruido
  - **Extensión** de métodos de suavización de imágenes monocromáticas
  - Métodos basados en los **filtros vectoriales direccionales**

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Fundamentos teóricos

- **Extensión** de técnicas monocromáticas
  - Los detectores monocromáticos de bordes son utilizados o adaptados para ser aplicados a imágenes en color.
- La imagen en color como **campo vectorial**
  - Se asocia a cada punto  $(x, y)$  un vector tridimensional del espacio de color utilizado.

$$\vec{f}(x, y) = (R(x, y), G(x, y), B(x, y))$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### **Tipos de detectores basados en técnicas monocromáticas**

- Los que **no** utilizan la información **cromática** de la imagen en color.
- Reducción de la dimensionalidad de la imagen en color.
- Fusión de bordes.
- Combinan **gradientes monocromáticos**.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores que no utilizan la información cromática de la imagen en color

- Utilizan la **media aritmética** de los planos de color para obtener el plano de **intensidad**

$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y))$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Imagen en color



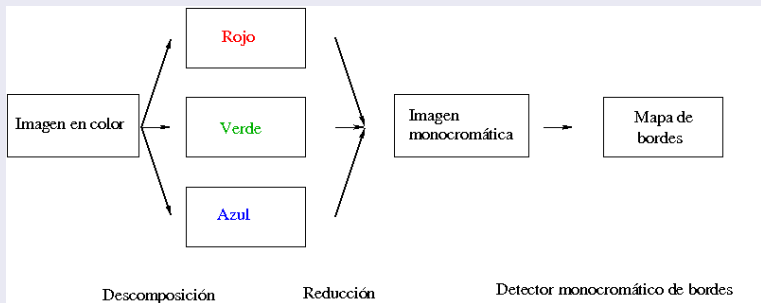
Imagen monocromática

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

**Detectores basados en la reducción de la dimensionalidad de la imagen en color**



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### **Detectores basados en la reducción de la dimensionalidad de la imagen en color**

- Métrica de color o distancia colorimétrica:
  - los bordes son detectados en los puntos donde se produce alguna discontinuidad de la distancia definida
- Proyección sobre un eje
  - la información de color de cada punto es considerada como un vector tridimensional que puede ser proyectado sobre un eje.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en la fusión de bordes

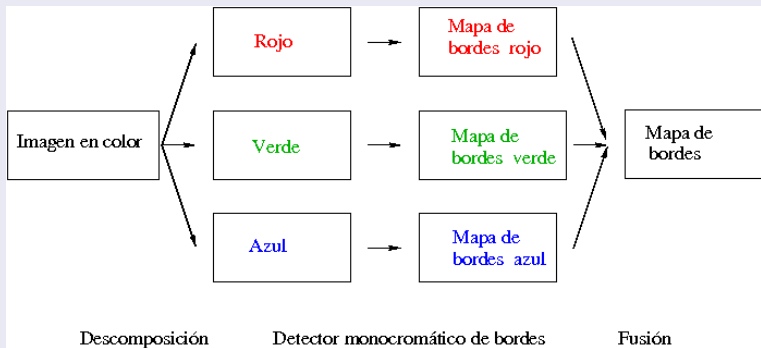
- 1 **Descomposición** de la imagen en sus componentes de color.
- 2 Aplicación de una **técnica monocromática** a cada componente de forma independiente.
- 3 **Fusión** de los bordes detectados en cada componente de color.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en la fusión de bordes



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en la fusión de bordes

- Métodos de fusión
  - Aplicación de alguna **operación lógica**
  - Mediante la aplicación de algunas **restricciones de uniformidad**.
  - **Minimización**
  - Regularización basada en la **curvatura** de los bordes

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en los gradientes monocromáticos

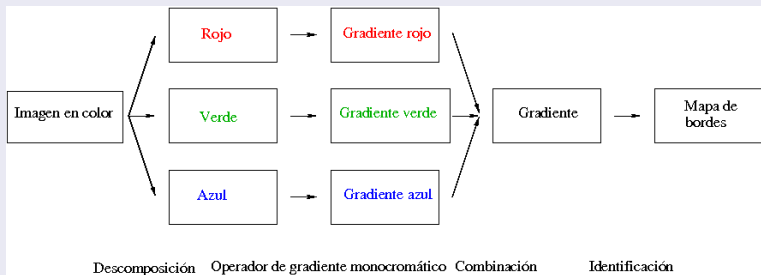
- 1 **Descomposición** de la imagen en sus componentes de color.
- 2 **Cálculo** del gradiente monocromático en cada componente de color
- 3 **Combinación** de los gradientes monocromáticos para calcular el gradiente de la imagen en color.
- 4 **Identificación** de los bordes mediante **umbralización**: se puede combinar con
  - una fase previa de supresión no máximos locales
  - una fase posterior de adelgazamiento de bordes.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en los gradientes monocromáticos



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- Tipos de combinación de los gradientes (1/2)
  - Suma de los gradientes monocromáticos

$$\vec{\nabla}f(x, y) = \vec{\nabla}R(x, y) + \vec{\nabla}G(x, y) + \vec{\nabla}B(x, y)$$

- Suma de las magnitudes de los gradientes monocromáticos.

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \|\vec{\nabla}R(x, y)\| + \|\vec{\nabla}G(x, y)\| + \|\vec{\nabla}B(x, y)\|$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- Tipos de combinación de los gradientes (2/2)
  - **Máximo** de las magnitudes de los gradientes monocromáticos

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \max\{\|\vec{\nabla}R(x, y)\|, \|\vec{\nabla}G(x, y)\|, \|\vec{\nabla}B(x, y)\|\}$$

- **Raíz cuadrada** de la suma de los cuadrados de las magnitudes de los gradientes monocromáticos.

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \sqrt{\|\vec{\nabla}R(x, y)\|^2 + \|\vec{\nabla}G(x, y)\|^2 + \|\vec{\nabla}B(x, y)\|^2}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- Inconvenientes
  - No se tiene en cuenta la posible **correlación** entre las componentes del espacio de color.
  - La **suma de los gradientes** monocromáticos puede no detectar todos los bordes en el caso de que los gradientes tengan **direcciones opuestas**.
  - Los **otros métodos** puede detectar **falsos bordes**, porque no consideran la dirección de los gradientes



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

**Detectores que consideran a las imágenes en color como campos vectoriales**

$$\vec{f}(x, y) = (R(x, y), G(x, y), B(x, y))$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### **Detectores que consideran a las imágenes en color como campos vectoriales**

- Reducción de la dimensionalidad: proyección de los vectores sobre un eje
- Ordenamiento de vectores.
- **Vector gradiente multidimensional.**
- Derivadas de segundo orden.
- Entropía.
- Histogramas.
- Etc.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### **Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente**

- Formas de calcular el vector gradiente
  - Métodos basados en distancias métricas.
  - Noción de gradiente multidimensional.
  - Operadores vectoriales direccionales.
  - Operadores basados en la diferencia de vectores.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- Magnitud del gradiente

$$\|\vec{\nabla} \vec{f}(x_0, y_0)\| = \max_{i=1, \dots, 8} \{\|\vec{f}(x_i, y_i) - \vec{f}(x_0, y_0)\|\}$$

donde  $\|\cdot\|$  representa la norma euclídea  $L_2$

- Dirección del gradiente:
  - Dirección del vector que une el punto central con el punto en el que se ha alcanzado el máximo.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- Distancias métricas alternativas:
  - Distancia de la **ciudad de los bloques** o norma  $L_1$
  - Distancia de **ajedrez** o norma  $L_\infty$
  - Distancia **angular**
  - Combinación de la distancia euclídea y la distancia angular

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- Variantes:
  - Detector borroso (*fuzzy*): combina
    - una función normalizada de contraste de tono (*normalized hue contrast*) definida en el espacio de color *HSI*
    - la distancia euclídea en el espacio de color *RGB*
  - Detector basado en el espacio de color *CIE Lab*: utiliza
    - *Compass operator*
    - *Earth mover's distance*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Detector de **Di Zenzo** (1986)
  - Calcular el gradiente de una imagen multidimensional usando los **operadores direccionales**
  - **Evita** el problema de la **combinación** de los gradientes monocromáticos

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Operadores direccionales
  - Horizontal

$$\vec{u}(x, y) = \frac{\partial R}{\partial x}(x, y)\vec{r} + \frac{\partial G}{\partial x}(x, y)\vec{g} + \frac{\partial B}{\partial x}(x, y)\vec{b}$$

- Vertical

$$\vec{v}(x, y) = \frac{\partial R}{\partial y}(x, y)\vec{r} + \frac{\partial G}{\partial y}(x, y)\vec{g} + \frac{\partial B}{\partial y}(x, y)\vec{b}$$

$\vec{r}$ ,  $\vec{g}$  y  $\vec{b}$ : vectores unitarios de los ejes  $R$ ,  $G$  y  $B$ , respectivamente.



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Componentes de un tensor simétrico

$$g_{xx}(x, y) = \vec{u}(x, y) \cdot \vec{u}(x, y)$$

$$g_{yy}(x, y) = \vec{v}(x, y) \cdot \vec{v}(x, y)$$

$$g_{xy}(x, y) = g_{yx}(x, y) = \vec{u}(x, y) \cdot \vec{v}(x, y)$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Magnitud del vector gradiente de  $\vec{f}$  en cada punto  $(x, y)$

$$\begin{aligned}df^2 &= F(\theta) \\ &= \frac{1}{2} \left( \begin{aligned} &g_{xx}(x, y) \\ &+ g_{yy}(x, y) \\ &+ (g_{xx}(x, y) - g_{yy}(x, y)) \cos(2\theta) \\ &+ 2g_{xy}(x, y) \sin(2\theta) \end{aligned} \right)\end{aligned}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- El valor de  $\theta$  que **maximiza** la función  $F$  permite obtener **la dirección y la magnitud del gradiente**
- Problema que se debe resolver:

$$\frac{\partial F(\theta)}{\partial \theta} = 0$$

- Valores de  $\theta$  **candidatos** para alcanzar el valor máximo

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{2g_{xy}(x,y)}{g_{xx}(x,y) - g_{yy}(x,y)} \right)$$
$$y \quad \theta \pm \frac{\pi}{2}$$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Entre los valores candidatos de  $\theta$ , se elige el valor  $\theta_0$  que maximice  $F(\theta)$ .
- Dirección del gradiente:  $\theta_0$
- Magnitud del gradiente:  $\sqrt{F(\theta_0)}$

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Métodos de identificación de los bordes
  - Umbralizar el valor de  $\sqrt{F(\theta_0)}$  o de  $F(\theta_0)$
  - Localizar los máximos locales en la dirección del gradiente

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Métodos para calcular los gradientes en los planos de color rojo ( $R$ )

$$\frac{\partial R}{\partial x}, \frac{\partial R}{\partial y}, \frac{\partial G}{\partial x}, \frac{\partial G}{\partial y}, \frac{\partial B}{\partial x}, \frac{\partial B}{\partial y}$$

- Di Zenzo (1.986): operador de Sobel
- Drewniok (1.994): operador de Canny (1.986)
- Chapron (1.992): método de Deriche (1.987), que, a su vez, está basado en el detector de Canny.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes en color)

### Gradiente multidimensional

- *Dificultades*
  - *No se puede calcular la dirección del gradiente cuando*
    - $g_{xx} = g_{yy}$  y  $g_{xy} = 0$
    - *o los valores de  $g_{xx}$  y  $g_{yy}$  están muy próximos*

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Solución: **matriz jacobiana** (Lee, Novak, Saber):

$$D(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial R}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial G}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial B}{\partial x}(x, y) \\ \frac{\partial R}{\partial y}(x, y) & \frac{\partial G}{\partial y}(x, y) & \frac{\partial B}{\partial y}(x, y) \end{bmatrix}$$



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
  - Se define una **distancia de color**  $d$  entre  $\vec{f}(x, y)$  y  $\vec{f}(x + n_1, y + n_2)$ ,

$$d = \sqrt{\vec{n} D D^T \vec{n}^T}$$

donde  $\vec{n} = (n_1, n_2)$  es un vector unitario

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
  - **Dirección del gradiente:** **autovector** asociado al autovalor  $\lambda(x, y)$

$$\vec{v}_1(x, y) = (g_{xy}(x, y), \lambda(x, y) - g_{xx}(x, y))$$

o

$$\vec{v}_2(x, y) = (\lambda(x, y) - g_{yy}(x, y), g_{xy}(x, y))$$

si el vector  $\vec{v}_1(x, y)$  es un vector nulo

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
  - Este método **no** necesita ninguna fase de maximización
  - **Magnitud del gradiente**: se obtiene directamente de  $\lambda(x, y)$
  - **Dificultades**
    - Problema al estimar la dirección del gradiente cuando los vectores  $\vec{v}_1(x, y)$  y  $\vec{v}_2(x, y)$  son nulos.
    - Ocurre cuando  $g_{xx}(x, y) = g_{yy}(x, y)$  y  $g_{xy}(x, y) = 0$ .

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Detección de bordes en imágenes en color

#### **Gradiente multidimensional**

- Tiene en cuenta la **naturaleza vectorial** de la imagen en color
- Extrae **más información** de la imagen en color que los métodos basados en la extensión del gradiente monocromático.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Gradiente multidimensional

- **Dificultades**
  - Muy sensibles a pequeñas variaciones de **textura**: puede dificultar la identificación de objetos reales
  - Sensibles a los **ruidos** de tipo gaussiano e impulsivo

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Algoritmos orientados a los bordes

- Introducción
- Detección de bordes en imágenes monocromáticas
- Detección de bordes en imágenes en color
- **Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color**

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

**Tipos de detectores evaluados (1/3):** basados en

- **Gradiente multidimensional:** Di Zenzo (1986) y Lee y Cok (1991)
- **Operadores vectoriales direccionales:** Scharcanski y Venetsanopoulos (1997)
- **Diferencia de vectores:**  $D_v$  (*difference vector*,  $D_v-h_v$  (direcciones horizontal y vertical))
- **Ordenamiento de vectores:**  $M_vd$  (*minimum vector dispersion*)

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

**Detectores evaluados (2/3):** basados en

- Distancia métrica para estimar el vector gradiente: Máximo de las distancias euclídeas'
- Entropía: detector de Shiozaki (1986)
- Histogramas: detector Pietikäinen y Harwood (1986)
- Suma de las magnitudes de los gradientes monocromáticos



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

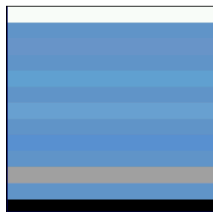
#### Detectores evaluados (3/3)

- Además, se ha evaluado el detector de **Sobel**
  - Comparar un algoritmo monocromático clásico con los detectores de bordes en color.
  - En este caso, se ha usado la imagen monocromática

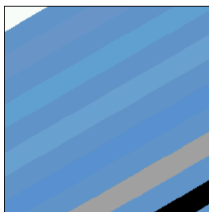
$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)) \quad (2)$$

## Segmentación

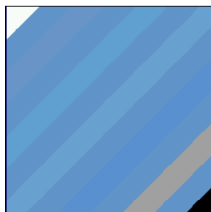
Algoritmos orientados a los bordes



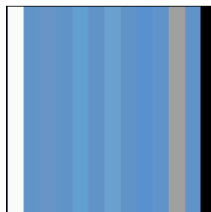
Barras 0



Barras 30



Barras 45

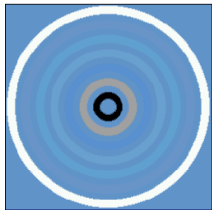


Barras 90

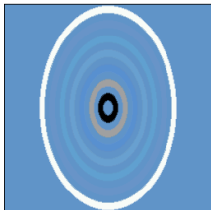
Imágenes artificiales en color diseñadas (1/2)

## Segmentación

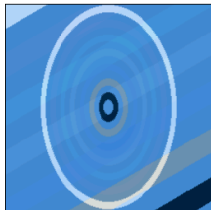
Algoritmos orientados a los bordes



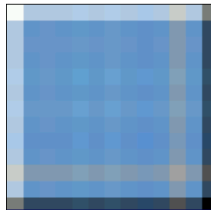
Círculos



Elipses



Barras 30 - elipses



Barras 0 - barras 90

Imágenes artificiales en color diseñadas (2/2)

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

#### Características de las imágenes diseñadas (1/2)

- Espacio de color: *RGB*.
- 256 niveles de intensidad ( $[0..255]$ ).
- Tamaño:  $256 \times 256$  puntos.
- Los bordes provocados por
  - Cambios en una, dos o tres componentes de color.
  - Cambios en las tres componentes de color, pero manteniendo constante la intensidad.
  - La aparición de zonas blancas, negras o grises.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

#### Características de las imágenes diseñadas (2/2)

- Todos los bordes generados eran del tipo de “rampa” ligeramente asimétrica.
- Los bordes generados eran rectos o curvos.
- Variantes de las imágenes:
  - Sin ruido
  - Ruido gaussiano ( $\sigma^2 \in \{1, 3, 10\}$ )
  - Ruido exponencial ( $\sigma^2 \in \{1, 3, 10\}$ ).

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

- Aplicación del detector de bordes a la imagen en color: se genera la **imagen realzada**.
- Umbralizar la imagen realzada con un **umbral porcentual**: se genera la **imagen umbralizada**.
- Utilizar la **medida de Baddeley** para comparar la imagen umbralizada con el mapa de bordes (*ground truth*).
- Para cada imagen y cada detector, se selecciona el valor **mínimo** obtenido por la **medida de Baddeley** entre todas las imágenes umbralizadas.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

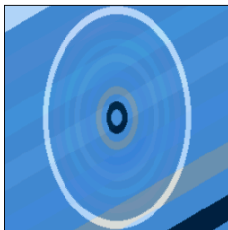
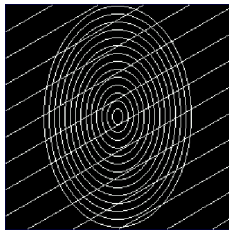


Imagen artificial en color



Mapa de bordes

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

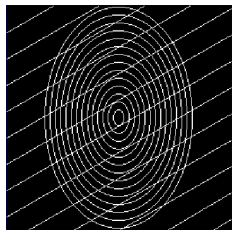
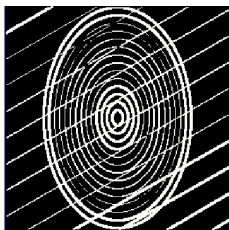
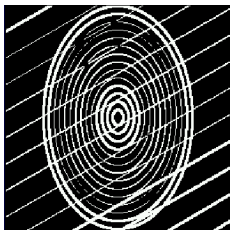


Imagen ideal



Di Zenzo: 0'1331

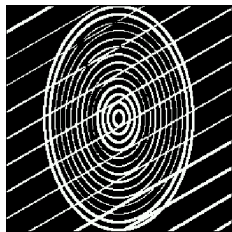


Lee y Cok: 0'1331

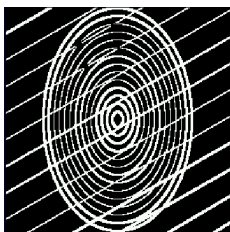


## Segmentación

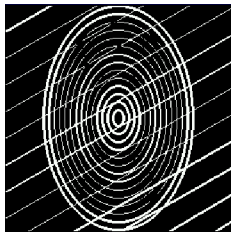
Algoritmos orientados a los bordes



Scharcanski: 0'1383



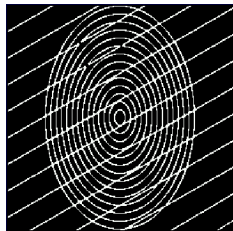
Dv: 0'1431



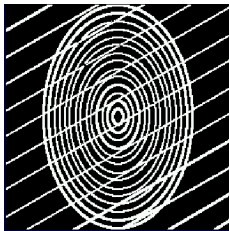
Dv-hv: 0'1015

## Segmentación

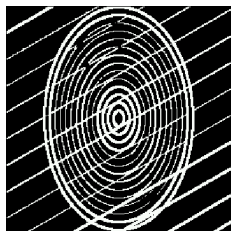
Algoritmos orientados a los bordes



Mvd: 0'0746



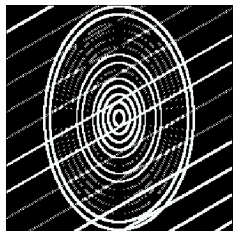
Máximo: 0'1614



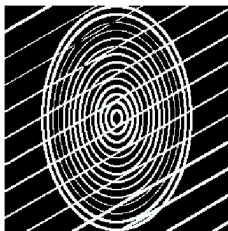
Shiozaki: 0'1364

## Segmentación

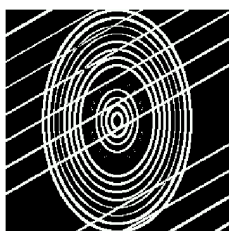
Algoritmos orientados a los bordes



Pietikäinen: 0'1744



Suma: 0'2119



Sobel: 0'2607

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Subconjuntos homogéneos según el test de Scheffé

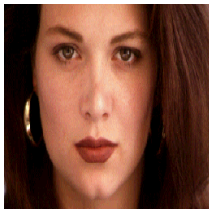
Detector	Subconjunto					
	1	2	3	4	5	6
Lee y Cok	0'1461					
Di Zenzo	0'1461					
Mvd	0'1544	0'1544				
Scharcanski		0'1618				
Dv-hv			0'1789			
Dv			0'1843			
Shiozaki				0'2226		
Suma de magnitudes				0'2247		
Pietikäinen					0'2432	
Máximo de distancias					0'2514	
Sobel						0'2735
Significación	0'687	0'837	0'978	1'000	0'718	1'000

## Segmentación

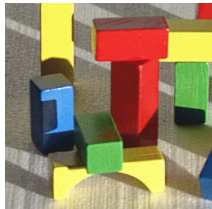
Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Amber



Blocks



Saturn

Imágenes reales

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

#### Evaluación con imágenes reales

- Aplicación de los **detectores de bordes** a las imágenes en color.
- **Umbralización** de las imágenes generadas por los detectores.
- Generación de las imágenes de **consenso**.
- Uso de la **medida de Baddeley** para comparar la imagen umbralizada de cada detector con cada una de las imágenes de consenso generadas.

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Consenso: 1



Consenso: 2

Umbral del 20%

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 3



Consenso: 4



Consenso: 5

Umbral del 20%



## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 6



Consenso: 7



Consenso: 8

Umbral del 20%

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 9



Consenso: 10



Consenso: 11

Umbral del 20%

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Di Zeno



Lee y Cok

Umbral del 20%

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Scharcanski



Dv



Dv - hv

Umbral del 20%

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Mvd



Max



Shiozaki

Umbral del 20 %

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Pietikäinen



Suma



Sobel

Umbral del 20%

## Segmentación

### Algoritmos orientados a los bordes

Prueba con imágenes reales utilizando sólo imágenes de consenso comprendidas entre 3 y 7 y todos los umbrales porcentuales utilizados (10 %, 15 % y 20 %).

Detector	Subconjunto						
	1	2	3	4	5	6	7
Lee y Cok	0'0329						
Di Zenzo	0'0329						
Scharcanski		0'0534					
Dv		0'0536					
Suma de magnitudes		0'0561					
Sobel			0'0618				
Dv-hv				0'0741			
Pietikäinen					0'0881		
Máximo de distancias						0'1022	
Mvd						0'1051	
Shiozaki							0'2018
Significación	1'000	0'677	1'000	1'000	1'000	0'560	1'000

## Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

### Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

#### Análisis de los detectores de bordes

- **Di Zenzo y Lee y Cok:** mejor rendimiento
- Scharcanski y Venetsanopoulos, “Dv” y “Suma de las magnitudes de los gradientes”: rendimiento similar.
- **Sobel** (monocromático) **supera** a otros detectores de bordes en color: “Dv-hv”, Pietikäinen y Harwood y “Máximo de las distancias”
- Mvd: rendimiento muy deficiente, debido a su **dependencia** de los parámetros.
- Shiozaki: resultados extraordinariamente pobres debido a su alta **sensibilidad** al ruido.



## Aplicaciones \*

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \***
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Desarrollo del software \*

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \***
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Divulgación \*

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \***
- 10 Historia \*




## Historia \*

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \***




## Referencias

- 1 Visión artificial
- 2 Imagen digital
- 3 Color
- 4 Ruido
- 5 Realce de la imagen (incompleto)
- 6 Segmentación
- 7 Aplicaciones \*
- 8 Desarrollo del software \*
- 9 Divulgación \*
- 10 Historia \*

## Bibliografía I

-  Abdou, I. E. 1978.  
“Quantitative methods of edge detection”.  
Technical Report 830, Image Processing Institute, University of Souththern California.
-  Abdou, I. E. y Pratt, W. K. 1979.  
“Quantitative design and evaluation of enhancement /thresholding edge detector”.  
*Proceedings of the IEEE*, 67(5):753–763.
-  Abutaleb, A. S. 1989.  
“Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy”.  
*Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 47:22–32.

## Bibliografía II

-  Aho, A. V., Sethi, R. y Ullman, J. 1990.  
“*Compiladores: principios, técnicas y herramientas*”.  
Addison Wesley Iberoamericana.
-  Allen, J. T. y Huntsberger, T. 1989.  
“Comparing color edge detection and segmentation methods”.  
En *IEEE Proceedings 1989 Southeastcon*, pág. 722–727.
-  Aloimonos, Y. 1988.  
“Visual shape computations”.  
*Proceedings of the IEEE*, 76:899–916.

## Bibliografía III



Alshatti, W. y Lambert, P. 1993.

“Using eigenvectors of a vector field for deriving a second directional derivative operator for color images”.

En Chetverikov, D. y Kropatsch, W. G., editores, *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns CAIP'93*, pág. 149–156, Budapest, Hungría.



Arcelli, C. y Ramella, G. 1993.




“Finding contour-based abstractions of planar pattern”.  
*Pattern Recognition*, 26(10):1563–1577.



## Bibliografía IV

-  Asada, H. y Brady, M. 1986.  
“The curvature primal sketch”.  
*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8:2–14.
-  Astola, J., Haavisto, P. y Neuvo, Y. 1988.  
“Median type filters for color signals”.  
En *Proceedings of the 1988 IEEE Symposium on Circuits and Systems*, vol. 2(3), pág. 1753–1756.
-  Astola, J., Haavisto, P. y Neuvo, Y. 1990.  
“Vector median filters”.  
En *Proceedings os the IEEE*, vol. 78, pág. 678–689.

## Bibliografía V

-  Atae-allah, C., Gómez-Lopera, J.-F., Robles-Pérez, A. y Román-Roldán, R. 1997.  
“Entropic edge detection and linking”.  
*En VII National Symposium on Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. II, pág. 16–17.
-  Atkinson, K. E. 1989.  
“*An Introduction to Numerical Analysis*”.  
Wiley, New York.
-  Babaud, J., Witkin, A., Baudin, M. y Duda, R. 1986.  
“Uniqueness of the Gaussian kernel for scale - space filtering”.  
*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8:26–33.

## Bibliografía VI



Baddeley, A. J. 1992a.

“An error metric for binary images” .

En *International Workshop on Robust Computer Vision*, Bonn  
9-11.



Baddeley, A. J. 1992b.

“*Robust Computer Vision: Quality of Vision Algorithms*”, cap.  
“An error metric for binary images”, pág. 59–78.

Wichmann Verlag, W. Förstner and S. Ruwiedel (eds).,  
Karlsruhe.






Bajcsy, M., Mintz, M. y Liebman, E. 1986.

“A common framework for edge detection and region  
growing” .

*Univ. Pennsylvania GRASP Lab., Tech. Rep., 61.*

## Bibliografía VII

-  Ballard, D. H. 1981.  
“Strip trees: a hierarchical representation of curves”.  
*Communications of the ACM*, 24:310–321.
-  Ballard, D. H. y Brown, C. M. 1981.  
“Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes”.  
*Pattern Recognition*, 13:111–122.
-  Ballard, D. H. y Brown, C. M. 1982.  
“*Computer Vision*”.  
Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.

## Bibliografía VIII



Barranco-López, V. 1998.

*“Detección de bordes en Imágenes Texturadas y Ruidosas Mediante la Divergencia de Jensen-Shannon”.*

Tesis Doctoral, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Granada, España.



Bartels, R., Beatty, J. y Barsky, B. 1991.

*“An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling”.*

Brooks/Cole.

## Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

### Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior de Córdoba  
Universidad de Córdoba