

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

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Universidad de Córdoba

## Ruido

### 1 Ruido

## Ruido

### Definición

#### 1 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

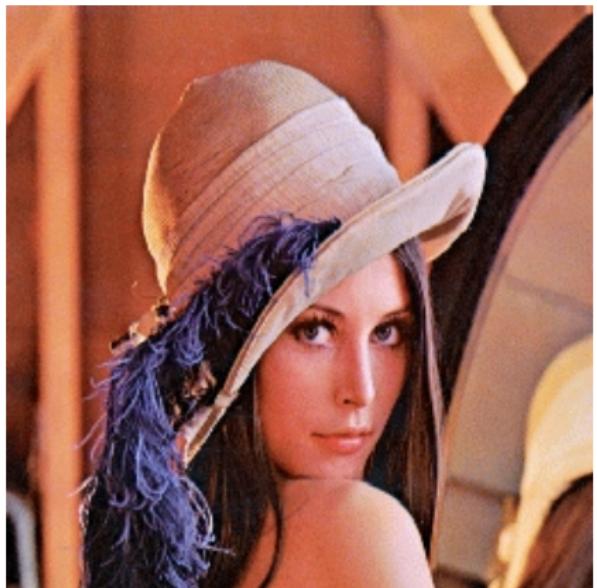


Imagen original: Lenna



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

#### 1 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

#### Clases de ruido según las características probabilísticas

- **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

### 1 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

### Categorías de los dispositivos de adquisición de imágenes

- **Sensores fotoquímicos**
  - Películas o diapositivas fotográficas.
- **Sensores photoelectrónicos**
  - Tubos *vidicon*
  - Dispositivos de inyección de carga  
(CID, *Charge Injection Devices*)
  - Dispositivos de carga acoplada  
(CCD, *Charge Coupled Devices*).

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Comparativa

- **Dispositivos fotoquímicos**

- Pueden detectar y grabar la imagen al mismo tiempo, pero la imagen que producen **no** puede ser fácilmente digitalizada.

- **Dispositivos fotoelectrónicos**

- Superan a las películas porque que pueden **digitalizar** la imagen **al mismo tiempo que la adquieren**.

## Ruido

Ruido provocado durante la adquisición de la imagen

### Ruido de 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 de 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 de cuantificación

- 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
  - 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

### 1 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

### Descripción

- 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.

## Ruido

Ruido provocado durante la transmisión 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 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 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 impulsivo o de "sal y pimienta" ("salt-pepper noise")

- También aparece con frecuencia durante la transmisión de la imagen
- Hay **puntos** de la imagen con niveles de intensidad muy diferentes a los 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.siue.edu/>

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### 1 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

### Descripción

- **Justificación**

- Se genera para valorar la **robustez** de un algoritmo en presencia de ruido.

- **Tipos de ruido**

- Impulsivo o sal y pimienta.
- Uniforme
- Gaussiano
- Exponencial
- Etc.

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido impulsivo o sal y pimienta)

#### • Puntos ruidosos

- Sus niveles de intensidad son muy diferentes a los valores de los puntos de su vecindario.
- Función de densidad de probabilidad del ruido impulsivo

$$\eta(x) = \begin{cases} A & \text{para } x = a \text{ (pimienta)} \\ B & \text{para } x = b \text{ (sal)} \end{cases}$$

con unas probabilidades de cambio  $P_{pimienta}$  y  $P_{sal}$ .

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido impulsivo o sal y pimienta

- Este tipo de ruido es provocado por
  - Mal funcionamiento de sensores de captura
  - Posiciones defectuosas de memoria.
  - Errores de temporización durante la digitalización.
- En general, las probabilidades de cambio son inferiores a 0.2.
- En imágenes de niveles de gris, los valores más usados son:  
 $A = 0$  y  $B = 255$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

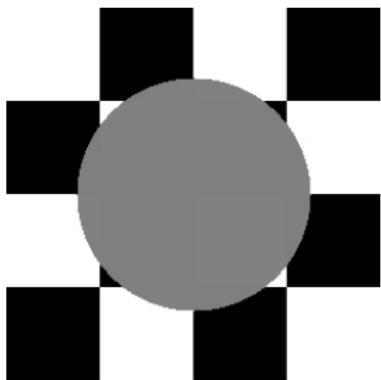


Imagen original



Histograma

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

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

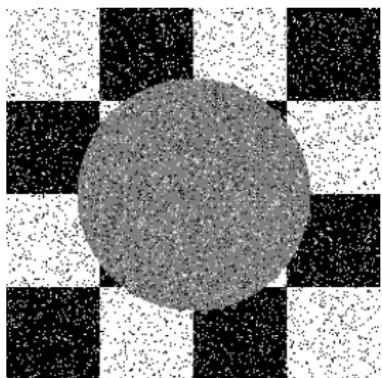


Imagen con ruido impulsivo

Probabilidades: sal = 0.08; pimienta = 0.08



Histograma

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

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen



Imagen original

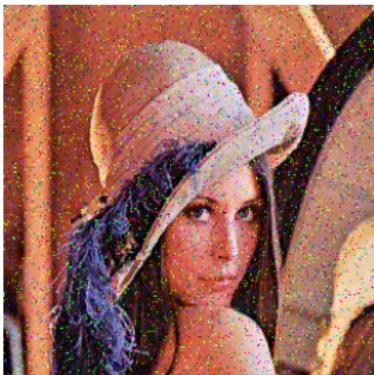


Imagen con ruido impulsivo

Probabilidades: sal = 0.03; pimienta = 0.03

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

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido uniforme)

- Los valores de los niveles de gris del ruido se distribuyen de forma uniforme.
- Función de densidad de probabilidad del ruido uniforme

$$\eta(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde

- $\mu = \frac{a+b}{2}$
- $\sigma = \frac{(b-a)^2}{12}$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido uniforme

- En imágenes con niveles de gris, el rango  $[a, b]$  suele ser  $[0, 255]$ , pero puede ser más reducido.
- Este tipo de ruido se presenta en **menos** situaciones reales.

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

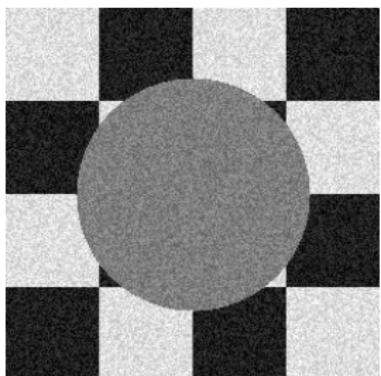


Imagen con ruido uniforme

$$\mu = 0, \sigma = 600$$



Histograma

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

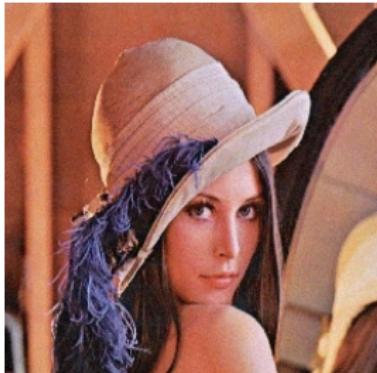
## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

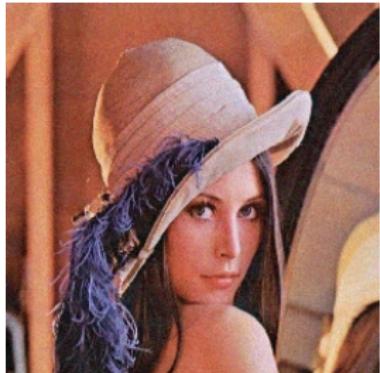
Ruido uniforme



Imagen sin ruido



$\sigma = 5$



$\sigma = 10$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido gaussiano)

- *Función de densidad de probabilidad del ruido gaussiano*

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

donde

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

## Ruido

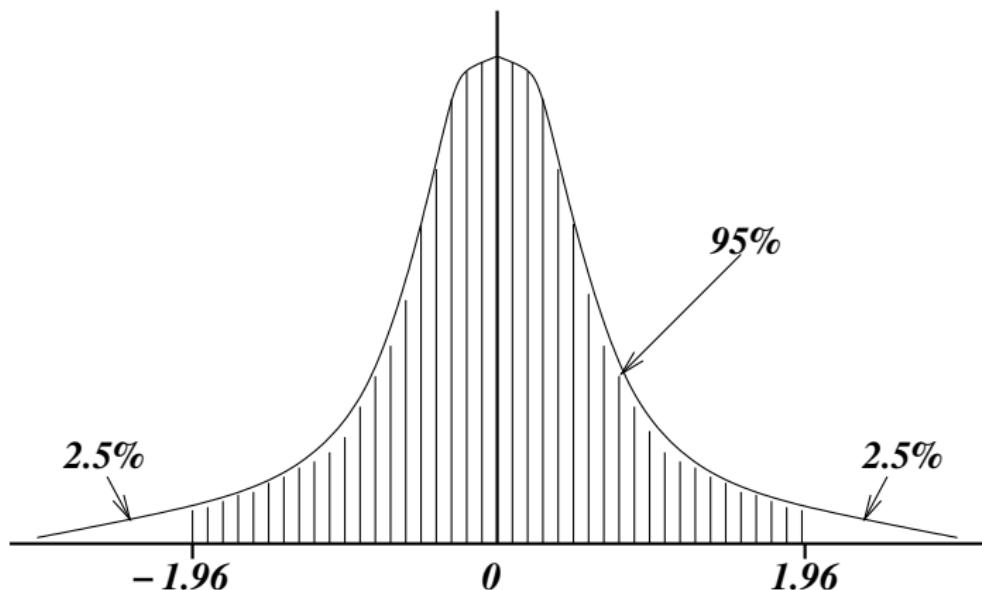
Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Ruido gaussiano: características

- Se utiliza frecuentemente para **simular** el ruido generado por dispositivos electrónicos durante la **adquisición** de la imagen.
- También es usado para **modelar** el ruido de **grano de película**.

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen



Distribución gaussiana

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

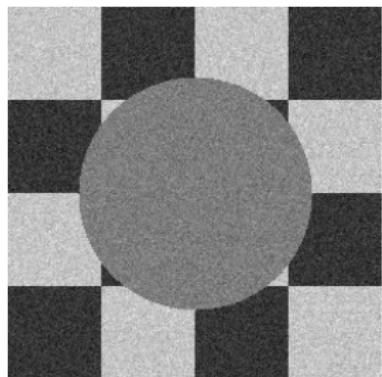


Imagen con ruido gaussiano

$$\mu = 0, \sigma^2 = 600$$



Histograma

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

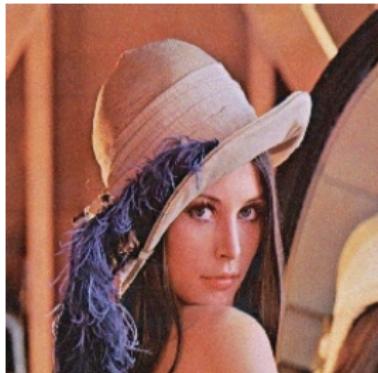
## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

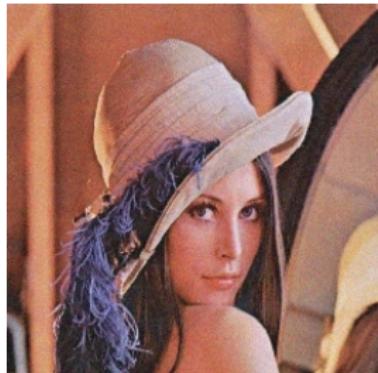
Ruido gaussiano



Imagen sin ruido



$\mu = 0, \sigma = 5$



$\mu = 0, \sigma = 10$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

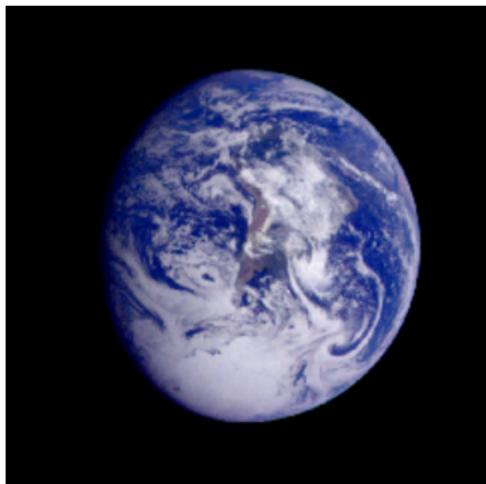


Imagen original



Imagen con ruido gaussiano  
 $\mu = 0, \sigma^2 = 800$

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

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

### Definición (Ruido exponencial)

- *Función de densidad de probabilidad del ruido exponencial*

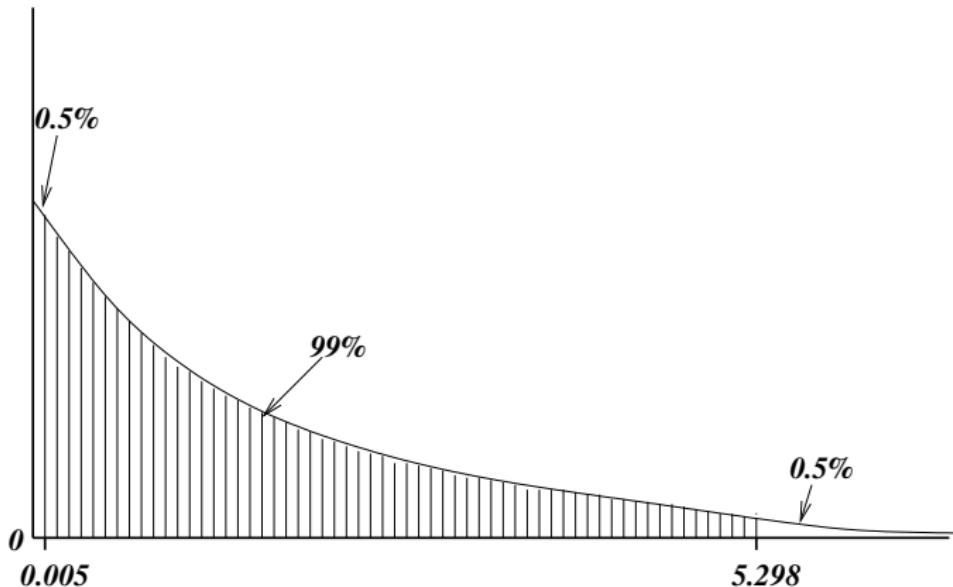
$$\eta(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{para } x \geq 0$$

donde

- $\mu = \frac{1}{\lambda}$
- $\sigma = \frac{1}{\lambda^2}$

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen



Distribución exponencial

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

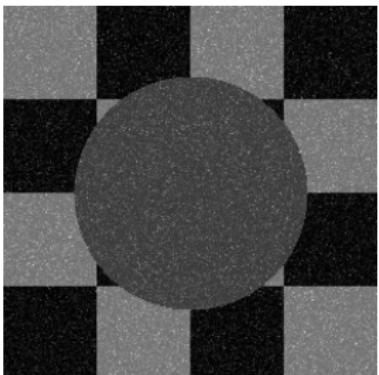


Imagen con ruido exponencial

$$\mu = 0, \sigma = 100$$



Histograma

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

## Ruido

Ruido provocado durante el procesamiento de la imagen

Ruido exponencial



Imagen sin ruido



$\sigma = 5$



$\sigma = 10$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### 1 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: Introducción

#### 1 Ruido

- Supresión del ruido
  - Introducción
  - Filtros espaciales de orden
  - Filtros espaciales de la media
  - Filtros espaciales adaptados

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Nota (Supresión del ruido y suavización de la imagen)

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

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Tipos de técnicas

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

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales

- Se prefieren los **filtros espaciales** para atenuar la presencia del ruido:
  - 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

### Tipos de filtros espaciales

- **Filtros de orden**
- **Filtros de la media**
- **Filtros adaptados**

## Ruido

Supresión del ruido: Filtros espaciales de orden

### 1 Ruido

- Supresión del ruido
  - Introducción
  - **Filtros espaciales de orden**
  - Filtros espaciales de la media
  - Filtros espaciales adaptados

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- Se basan en estadísticos de orden: mediana, máximo, mínimo, etc.
- Operan sobre pequeñas sub-ventanas o regiones y sustituyen el valor del pixel central por el nuevo valor calculado.
- Se ordenan los valores de cada sub-ventana y se obtiene el valor deseado.
- Si la imagen es en color o multidimensional entonces el filtro se ha de aplicar a cada banda por separado.

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Tipos:**

- Filtro de la mediana.
- Filtro del máximo.
- Filro del mínimo.
- Filtro del punto medio (*midpoint filter*).
- Filtro alfa recortado (*alpha trimmed filter*).

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro de la mediana**

- Elige el valor del pixel que ocupa la **posición media** en el ordenamiento de cada sub-ventana.

## Ruido

Supresión del ruido

### Ejemplo (Filtro de la mediana)

Considérese la sub-ventana de  $3 \times 3$

$$\begin{bmatrix} 100 & 89 & 92 \\ 110 & 25 & 80 \\ 95 & 78 & 93 \end{bmatrix}$$

El ordenamiento de los valores es

25, 78, 80, 89, 92, 93, 95, 100, 110

El nuevo valor del pixel central es 92.

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro de la mediana**

- Adecuado para atenuar el ruido impulsivo de *sal y pimienta*.
- Si el tamaño de la sub-ventana del filtro es grande entonces la imagen se puede convertir en borrosa: efecto de *pintado*

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la mediana



Sal y pimienta  
Probabilidad = 0.08



Máscara  $3 \times 3$



Máscara  $5 \times 5$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del máximo**

- Elige el valor del pixel que ocupa la **posición más alta o máxima** en el ordenamiento de cada sub-ventana.

## Ruido

Supresión del ruido

### Ejemplo (Filtro del máximo)

Considérese la sub-ventana de  $3 \times 3$

$$\begin{bmatrix} 100 & 89 & 92 \\ 110 & 25 & 80 \\ 95 & 78 & 93 \end{bmatrix}$$

El ordenamiento de los valores es

25, 78, 80, 89, 92, 93, 95, 100, 110

El nuevo valor del pixel central es 110.

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del máximo**

- Adecuado para atenuar el ruido impulsivo de **pimienta**.
- Provoca que la imagen sea más **clara**.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro del máximo

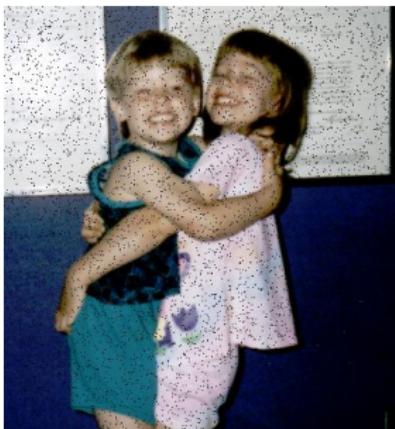


Imagen con ruido de pimienta  
Probabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del mínimo**

- Elige el valor del pixel que ocupa la **posición más baja o mínima** en el ordenamiento de cada sub-ventana.

## Ruido

Supresión del ruido

### Ejemplo (Filtro de la mínima)

Considérese la sub-ventana de  $3 \times 3$

$$\begin{bmatrix} 100 & 89 & 92 \\ 110 & 226 & 80 \\ 95 & 78 & 93 \end{bmatrix}$$

El ordenamiento de los valores es

78, 80, 89, 92, 93, 95, 100, 110, 226

El nuevo valor del pixel central es 78.

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del mínimo**

- Adecuado para atenuar el ruido impulsivo de **sal**.
- Provoca que la imagen sea más **oscura**.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro del mínimo

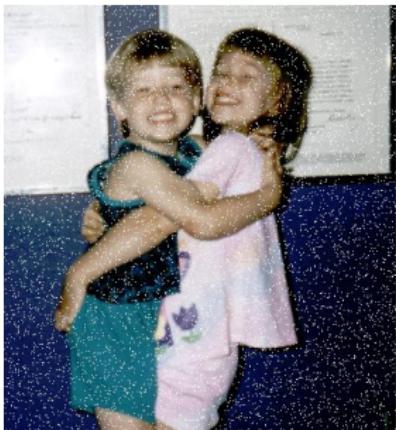


Imagen con ruido de sal  
Probabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Nota

- Existen *variantes* de los filtros del máximo y el mínimo, donde se elige el segundo (o tercer) elemento más alto o más bajo.
- Este tipo de filtros depende mucho del *tipo de ruido* de la imagen.

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del punto medio** (*midpoint filter*)
  - Calcula la media aritmética entre el valor más alto y el más bajo dentro de la sub-ventana.

## Ruido

Supresión del ruido

### Ejemplo (Filtro del punto medio)

Considérese la sub-ventana de  $3 \times 3$

$$\begin{bmatrix} 100 & 89 & 92 \\ 110 & 226 & 80 \\ 95 & 78 & 93 \end{bmatrix}$$

El ordenamiento de los valores es

78, 80, 89, 92, 93, 95, 100, 110, 226

El nuevo valor del pixel central es  $152 = \frac{78+226}{2}$ .

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

- **Filtro del punto medio (midpoint filter)**
  - Es un filtro adecuado para atenuar el ruido *gaussiano* o el ruido *uniforme*.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro del punto medio



Imagen con ruido gaussiano

$$\mu = 0, \sigma = 300$$



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de orden

- **Filtro de la media alfa recortada**

*(alpha-trimmed mean filter)*

- Calcula la media aritmética dentro de la sub-ventana, pero **excluye** algunos valores extremos

$$f(x_0, y_0) = \frac{1}{N^2 - 2T} \sum_{i=T+1}^{N^2-T} l_i$$

donde

- $l_1 \leq l_2 \leq \dots \leq l_N$  es el ordenamiento de la sub-ventana
- T: número de puntos **excluidos** en cada extremo

$$0 \leq T \leq \frac{N^2-1}{2}$$

## Ruido

Supresión del ruido

Nota (Filtro de la media alfa recortada)

- Si  $T = 0$ , se obtiene el filtro de la media aritmética.
- Si  $T = \frac{N^2 - 1}{2}$ , se obtiene el filtro de la mediana.

## Ruido

Supresión del ruido

### Ejemplo (Filtro de la media alfa recortada)

Considérese la sub-ventana de  $3 \times 3$

$$\begin{bmatrix} 100 & 89 & 92 \\ 110 & 226 & 80 \\ 95 & 78 & 93 \end{bmatrix}$$

El ordenamiento de los valores es

78, 80, 89, 92, 93, 95, 100, 110, 226

Si  $T = 2$ , la media alfa recortada es  $94 \approx 93,8 = \frac{89+92+93+95+100}{5}$ .

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de orden

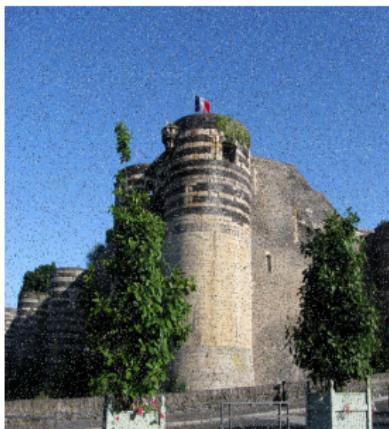
- **Filtro de la media alfa recortada**

- Adecuado para atenuar el ruido **gaussiano** o el ruido **uniforme**.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la alfa media recortada



Ruido gaussiano ( $\mu = 0, \sigma = 200$ )  
Sal y pimienta (probabilidad = 0.03)



Máscara  $3 \times 3$  y  $T = 1$

## Ruido

Supresión del ruido: Filtros espaciales de la media

### 1 Ruido

- Supresión del ruido
  - Introducción
  - Filtros espaciales de orden
  - **Filtros espaciales de la media**
  - Filtros espaciales adaptados

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- Promedian de diferentes formas los valores dentro de una sub-ventana  $N \times N$  y se lo asignan al punto central.
- Proceso de convolución: la sub-ventana recorre toda la imagen

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

#### • Tipos

- Filtro de la media aritmética.
- Filtro gaussiano.
- Filtro de la media contra - armónica.
- Filtro de la media geométrica.
- Filtro de la media armónica.
- Filtro de la media  $Y_p$ .

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro de la media aritmética**

$$f(x_0, y_0) = \frac{1}{N^2} \sum_{(x,y) \in W} f(x, y)$$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de la media

- **Filtro de la media aritmética**

- Es el filtro más simple y popular
- También se denomina filtro de *paso bajo*
- Se implementa con una máscara de convolución de  $N \times N$
- Ejemplo: máscara  $3 \times 3$

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Mitiga los efectos del ruido, pero hace **borrosa** a la imagen.

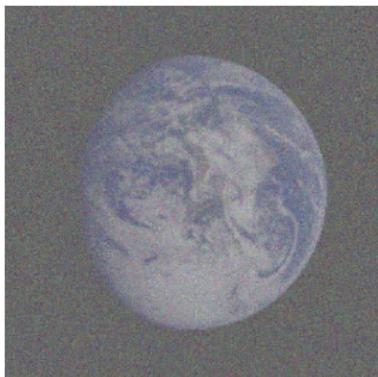
## Ruido

Supresión del ruido

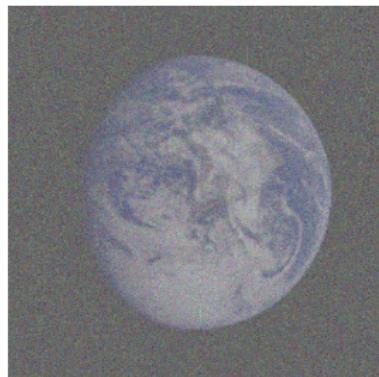
Filtro de la media aritmética



Ruido gaussiano



Máscara  $3 \times 3$



Máscara  $5 \times 5$

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

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

$$f(x_0, y_0) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \sum_{i=-N}^{i=N} \sum_{j=-N}^{j=N} e^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}} f(x_0 + i, y_0 + j)$$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

- Se implementa con una máscara de convolución de  $N \times N$
- El tamaño de la máscara depende de la desviación típica  $\sigma$
- Se suele tener en cuenta la siguiente relación

$$N \geq 3c$$

donde  $c = 2\sqrt{2} \sigma$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

- Ejemplos de máscaras de  $3 \times 3$

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

- Ejemplo de máscara de  $5 \times 5$  para  $\sigma = 1$

$$\frac{1}{273} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

- Mitiga el ruido de manera más uniforme o natural que la media aritmética.
- Se suele utilizar como etapa previa a la **detección de bordes**

## Ruido

Supresión del ruido

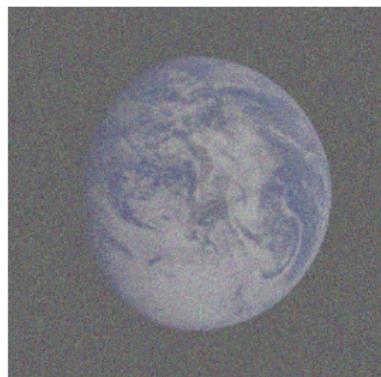
Filtro gaussiano



Ruido gaussiano



Máscara  $3 \times 3$



Máscara  $5 \times 5$

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

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de la media

- **Filtro gaussiano**

- Este filtro es separable por filas y columnas.
  - Primero se realizaría la convolución por filas
  - Al resultado obtenido, se aplicaría la convolución por columnas.
- Ejemplo de filtro unidimensional:  
[0.006, 0.061, 0.242, 0.383, 0.242, 0.061, 0.006]

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtros de la media contra - armónica:**

$$f(x_0, y_0) = \frac{\sum_{(x,y) \in W} f(x, y)^{(R+1)}}{\sum_{(x,y) \in W} f(x, y)^R}$$

- $R < 0$ : elimina ruido impulsivo de **sal**
- $R > 0$ : elimina ruido impulsivo de **pimienta**

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media contra-armónica



Imagen con ruido de sal  
Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$   
 $R = -3$

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media contra-armónica

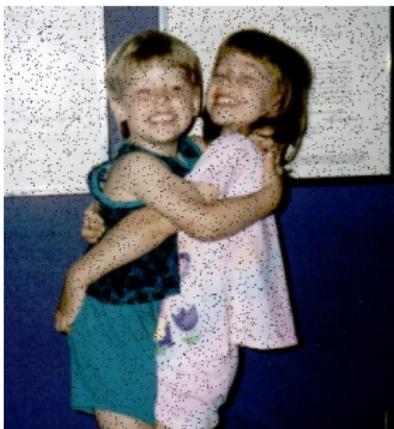


Imagen con ruido de pimienta

Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

$R = +3$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro de la media geométrica:**

$$f(x_0, y_0) = \prod_{(x,y) \in W} f(x, y)^{\frac{1}{N^2}}$$

- Funciona **bien** con **ruido gaussiano**.
- **No** se debe usar si el ruido es de **pimienta**

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media geométrica

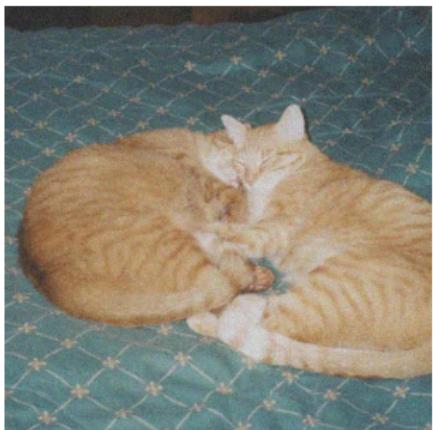


Imagen con ruido gaussiano

$$\mu = 0,0, \sigma = 300$$



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media geométrica

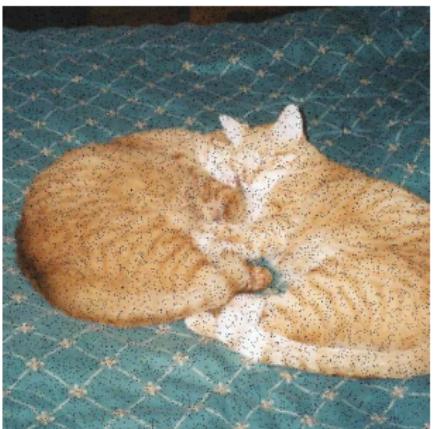


Imagen con ruido de pimienta  
Probabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales de la media

- **Filtro de la media armónica:**

$$f(x_0, y_0) = \frac{N^2}{\sum_{(x,y) \in W} \frac{1}{f(x,y)}}$$

- Funciona **bien** con el **ruido de sal y gaussiano**.
- **No** se debe usar si el ruido es de **pimienta**

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media armónica



Imagen con ruido gaussiano

$$\mu = 0,0, \sigma = 300$$



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media armónica



Imagen con ruido de sal  
Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media armónica

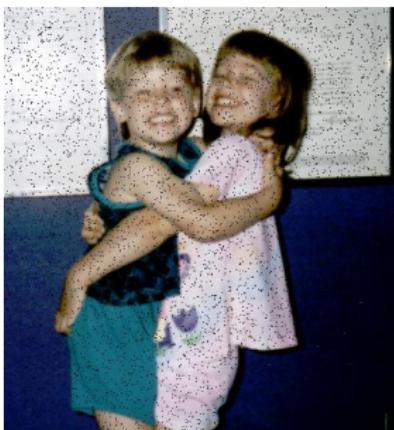
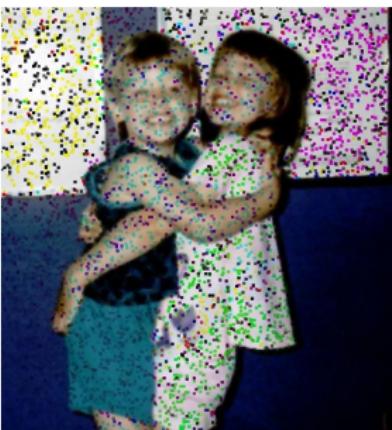


Imagen con ruido de pimienta  
Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales de la media

- **Filtros de la media**  $Y_p$

$$f(x_0, y_0) = \left[ \sum_{(x,y) \in W} f(x, y)^P \right]^{\frac{1}{P}}$$

- $P < 0$ : elimina ruido impulsivo de **sal**.
- $P > 0$ : elimina ruido impulsivo de **pimienta**.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media  $Y_p$



Imagen con ruido de sal  
Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$   
 $P = -5$

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro de la media  $Y_p$

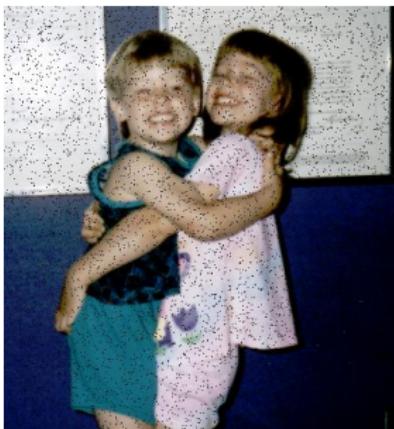


Imagen con ruido de pimienta  
Propabilidad = 0.04



Máscara  $3 \times 3$   
 $P = +5$

## Ruido

Supresión del ruido: Filtros espaciales adaptados

### 1 Ruido

- Supresión del ruido
  - Introducción
  - Filtros espaciales de orden
  - Filtros espaciales de la media
  - **Filtros espaciales adaptados**

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales adaptados

- Su funcionamiento tiene en cuenta la información de la imagen.
- Permiten retener detalles de la imagen y eliminar el ruido.
- Utilizan alguna medida del brillo o contraste local.

## Ruido

Supresión del ruido

### Filtros espaciales adaptados

- Filtro del mínimo error cuadrático medio.
- Filtro mejorado del mínimo error cuadrático medio.

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales adaptados

- **Filtro del mínimo error cuadrático medio**  
(*minimum mean-squared error*: MMSE)

$$f(x_0, y_0) = f(x_0, y_0) - \frac{\sigma_r^2}{\sigma_I^2} [f(x_0, y_0) - \mu_I(x_0, y_0)]$$

- Varianza del ruido de la imagen:  $\sigma_r^2$
- Varianza local del ruido:  $\sigma_I^2 = \frac{\sum_{(x,y) \in W} (f(x,y) - \mu_I(x,y))^2}{N^2 - 1}$
- Media local del ruido:  $\mu_I = \frac{1}{N^2} \sum_{(x,y) \in W} f(x,y)$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales adaptados

- **Filtro del mínimo error cuadrático medio**

(*minimum mean-squared error*: MMSE)

- La relación entre  $\sigma_r$  y  $\sigma_I$  controla el funcionamiento del filtro
- Si la imagen no tiene ruido ( $\sigma_r = 0,0$ ), se devuelve la imagen original.
- Si  $\sigma_r$  es mucho más pequeño que  $\sigma_I$  (zonas con más detalles), el filtro apenas modifica el valor original.
- Si  $\sigma_r = \sigma_I$  (por ejemplo, en el fondo de la imagen), se obtiene el filtro de la media aritmética.

## Ruido

Supresión del ruido

Filtro MMSE



Imagen con ruido gaussiano  
 $\mu = 0,0; \sigma^2 = 300$



Máscara  $3 \times 3$



Máscara  $9 \times 9$

## Ruido

### Supresión del ruido

#### Filtros espaciales adaptados

- **Filtro “mejorado” del mínimo error cuadrático medio**
  - Utiliza el tamaño de la ventana W de la  $ratio = \frac{\sigma_r}{\sigma_I}$  y un umbral  $h$  preestablecido.
  - Si  $ratio < h$ , el tamaño de W se debe reducir.
  - Si  $ratio \geq h$ , se aplica el filtro original del mínimo error cuadrático medio sobre la ventana W actual.

## Ruido

Supresión del ruido

Comparación de los filtros MMSE y MMSE mejorado (1/2)

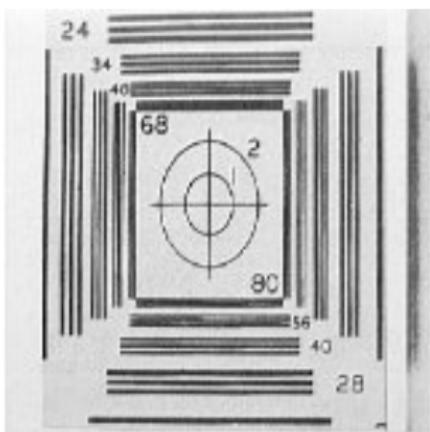


Imagen original

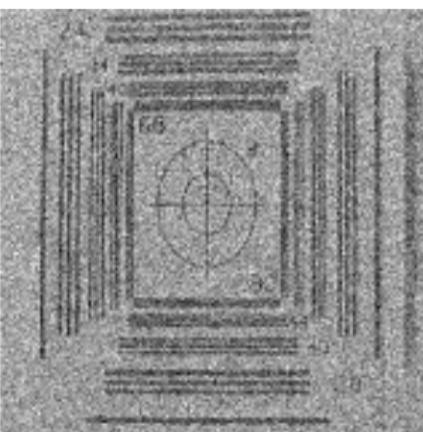
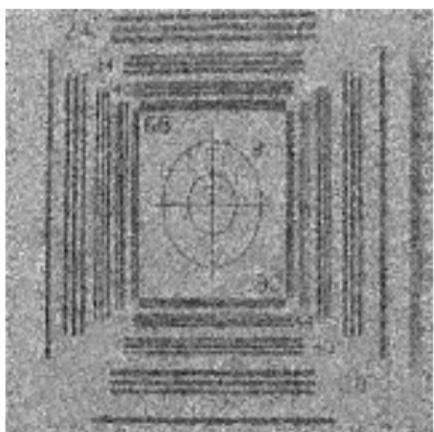


Imagen con ruido gaussiano  
 $\sigma^2 = 300$

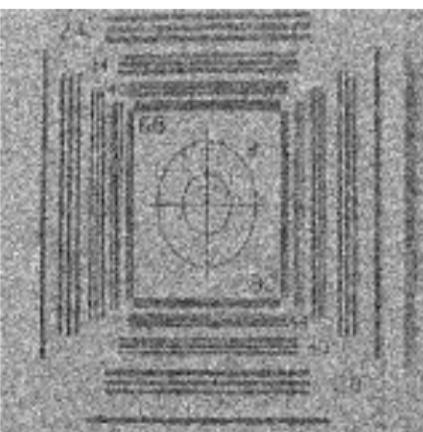
## Ruido

Supresión del ruido

Comparación de los filtros MMSE y MMSE mejorado (2/2)



MMSE  
 $\sigma^2 = 300$  Máscara =  $9 \times 9$



MMSE mejorado  
 $\sigma^2 = 300$  Máscara =  $9 \times 9$ ,  $h = 6$

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

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Universidad de Córdoba