

Tema 6. Procesamiento de imagen. Operaciones elementales

Índice

[Esquema](#)

[Ideas clave](#)

[6.1. ¿Cómo estudiar este tema?](#)

[6.2. Ajuste de intensidad](#)

[6.3. Procesado sistemático del histograma](#)

[6.4. Suavizado y realce mediante operadores aritméticos](#)

[6.5. Referencias bibliográficas](#)

[A fondo](#)

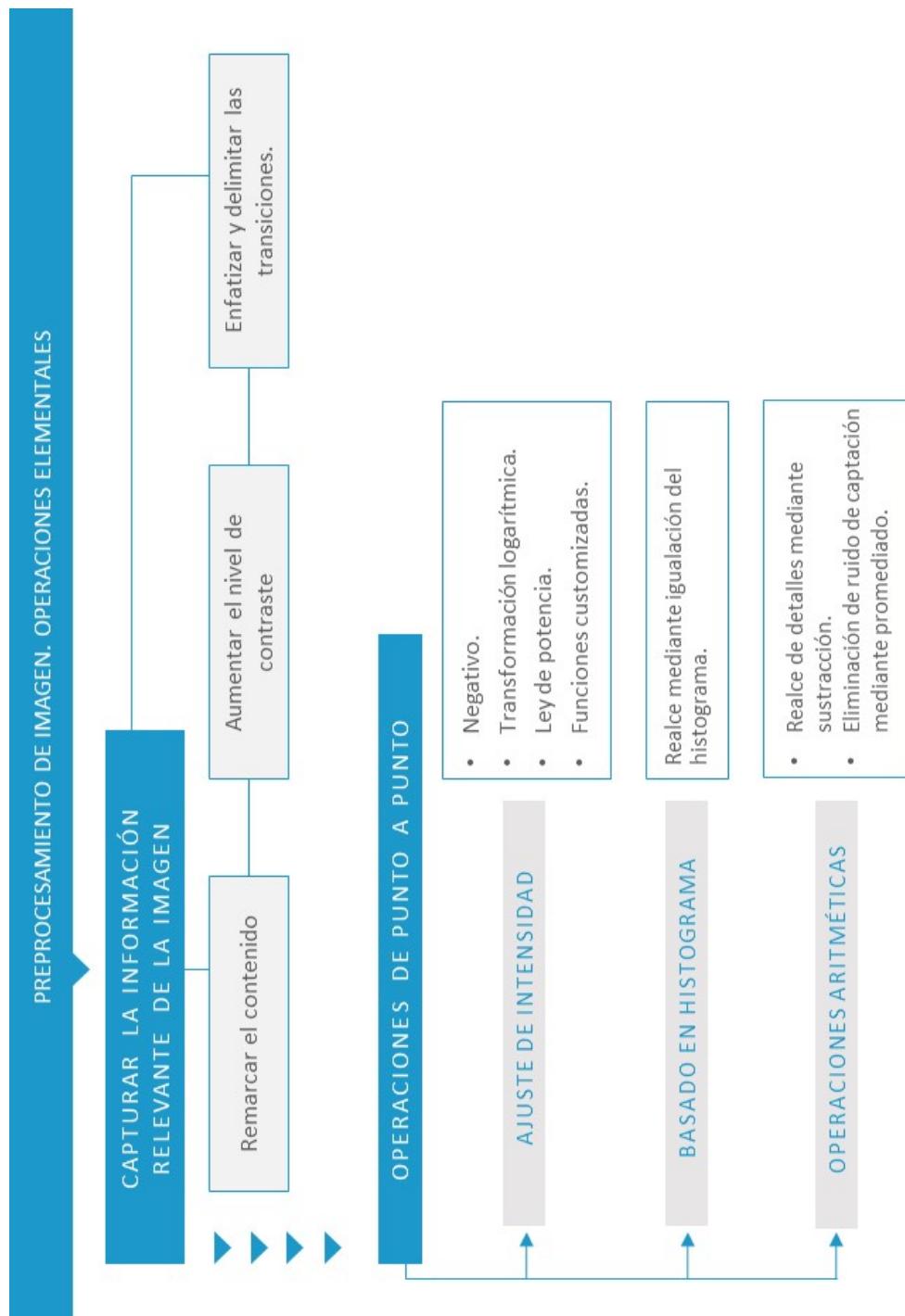
[Histograms and point operations](#)

[Image Processing Matlab Point operations](#)

[Operations or Functions on Images](#)

[Bibliografía](#)

[Test](#)



6.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema deberás leer con atención las ideas clave que se desarrollan a continuación.

Dentro del marco de la asignatura, este tema se centra en el procesado de imagen y, concretamente, se ubica en las primeras etapas de tratamiento de una imagen. En él se describen técnicas básicas para comenzar el procesado y que persiguen realizar el contenido de la imagen bajo estudio. Es decir, en un contexto o aplicación determinados, se busca **capturar la información relevante de la imagen** frente a la más prescindible.

Formalmente, las operaciones de realce de imagen consisten en la utilización de una o varias técnicas para resaltar en ella determinadas propiedades. Estas características a magnificar dependen del propósito final del escenario práctico en el que nos encontramos. Por ejemplo, lesiones concretas en imágenes sobre tejidos corporales para la identificación de una patología o los bordes de un objeto en un sistema de visión automática.

A modo ilustrativo, resumimos las siguientes operaciones que pertenecen al ámbito del realce de imagen:

- ▶ La supresión del ruido de fondo derivado del proceso de captura de una imagen. En este caso, se pretende **remarcar el contenido** de la imagen en detrimento de la textura en el fondo de esta. El objetivo es que el fondo de la imagen presente una intensidad lo más constante posible, ya que el detalle de interés no está en esa parte de la señal.

- ▶ El ajuste de intensidad que persigue **aumentar el nivel de contraste** de la imagen, de forma que puedan distinguirse con mayor nitidez los elementos presentes en ella.
- ▶ El realce de bordes, cuyo objetivo es **enfatizar y delimitar las transiciones** entre objetos diferentes a fin de poder ser distinguidos posteriormente con mayor facilidad.

El propósito final de las operaciones de realce de imagen es facilitar las etapas posteriores destinadas a la extracción de información. Así, estas etapas pueden ser llevadas a cabo por:

- ▶ Un observador humano. El resultado de las operaciones de realce debe hacer que la imagen sea más fácilmente «digerible», es decir, que puedan distinguirse con mayor nitidez las estructuras y elementos implicados en el caso de uso a tratar.
- ▶ Una máquina. Las operaciones de realce representan, en este caso, una etapa de preprocesado, cuyo objetivo es generar inputs adecuados para etapas posteriores destinadas a extraer información de la imagen. Así, el indicar cuáles son los bordes existentes entre diferentes estructuras puede no generar una imagen fácilmente interpretable para un humano, pero sí para una etapa posterior del sistema automático de procesado.

Existen diferentes operaciones para el realce de imagen. En este tema, se pone el foco en las **operaciones elementales de tipo punto a punto**. Estas operaciones se caracterizan por que el valor de un píxel en la imagen procesada es función únicamente del valor de ese mismo píxel en la imagen original. Matemáticamente, se expresa de la siguiente forma:

$$B(x,y) = T(A(x,y))$$

Donde:

- ▶ B es la imagen procesada.
- ▶ A es la imagen original.
- ▶ La coordenada (x,y) identifica al píxel sobre el que se aplica la operación.
- ▶ T es la función u operador de transformación.

La siguiente figura esquematiza la aplicación de este tipo de operadores.

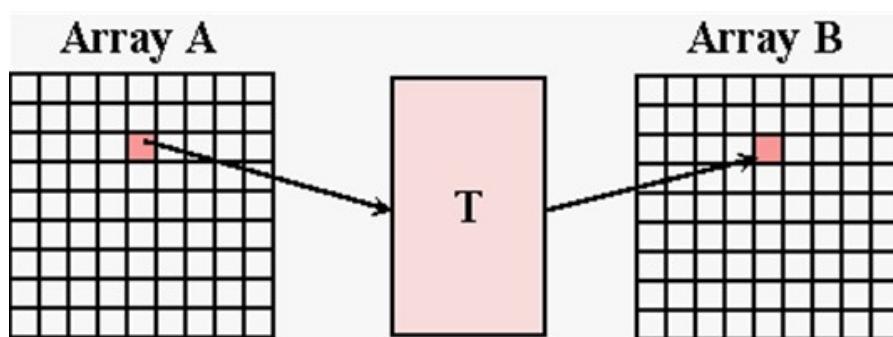


Figura 1. Aplicación de un operador punto a punto T sobre una imagen A y dando como resultado una imagen B. Fuente: www.cis.rit.edu

Con el fin de sintetizar la información proporcionada en este tema, en el siguiente esquema se reflejan los principales conceptos.

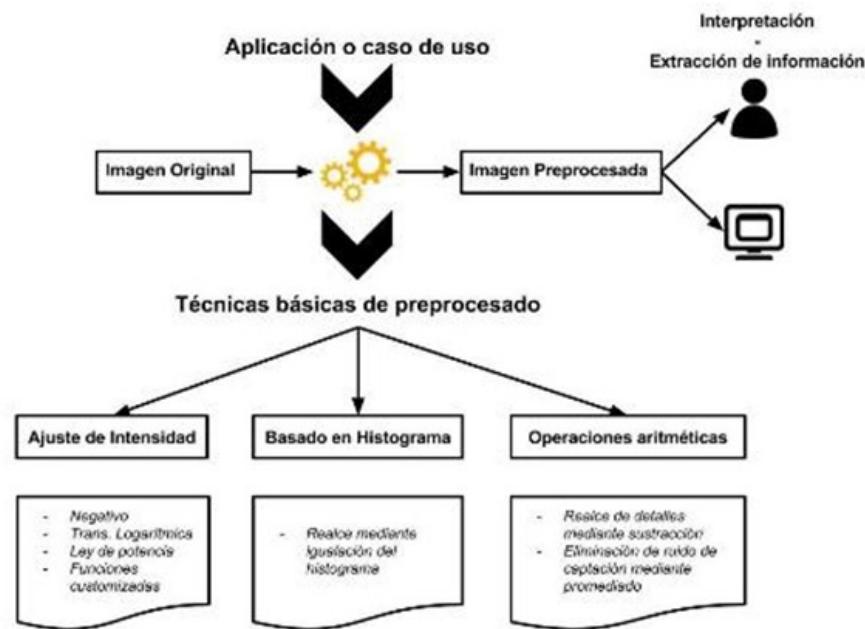


Figura 2. Síntesis de los conceptos elementales descritos en el tema: preprocesado de imagen mediante operaciones elementales.

6.2. Ajuste de intensidad

Las operaciones de ajuste de intensidad consisten en diferentes expresiones del operador T de la ecuación anterior. La figura 3 recoge algunas de las operaciones de transformación más comunes para una imagen con L niveles de intensidad diferentes.

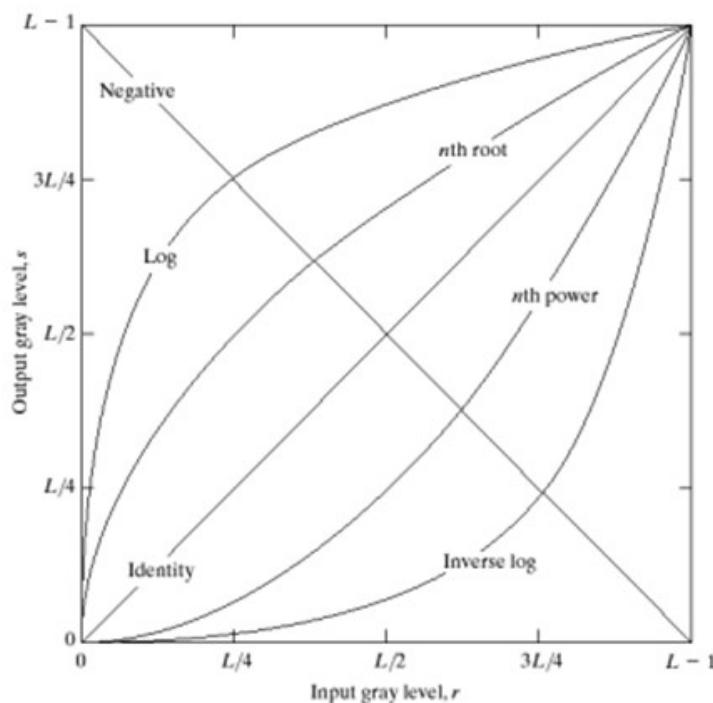


Figura 3. Perfil de las funciones de transformación punto a punto más comúnmente empleadas. Fuente: González y Woods, 2008.

Negativo de una imagen

El negativo de una imagen representa la imagen invertida respecto a la original. La expresión matemática de la transformación viene dada por la siguiente ecuación:

$$T(u) = L - u$$

Donde L es el mayor nivel de intensidad que puede tomar un píxel.

Como puede apreciarse, se trata de una **transformación lineal**. La figura 4 muestra un ejemplo de la aplicación de esta transformación a una imagen médica con el objetivo de resaltar un detalle de interés que, en este caso, viene dado por una lesión. Tal y como se aprecia, la lesión destaca con mayor nitidez en la imagen transformada, a pesar de que la transformación no varía el contenido visual de la señal al ser de naturaleza lineal.

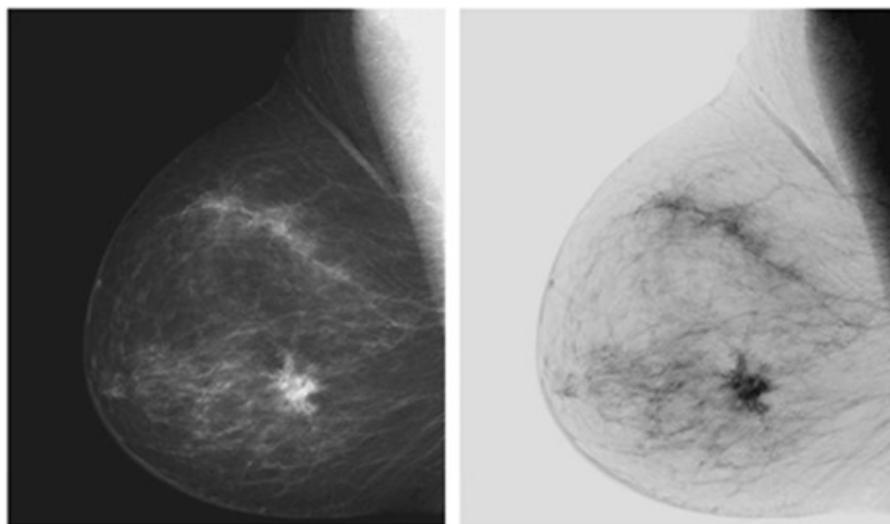


Figura 4. Ejemplo de aplicación del operador de transformación para la obtención del negativo en una imagen médica. Fuente: González y Woods, 2008.

Esta transformación tiene especial utilidad para realzar estructuras de mayor intensidad, es decir, de tonos más próximos al color blanco (que representa el valor máximo de intensidad) encerradas en áreas oscuras de la imagen.

Transformaciones logarítmicas

La expresión de los operadores logarítmicos es la siguiente:

$$T(u) = C \log(1 + u)$$

Donde C es una constante.

El **perfil del operador** puede apreciarse en la figura 3. Como puede observarse, esta transformación mapea un rango pequeño de valores menores de intensidad en la imagen de entrada en un rango amplio de salida. Sin embargo, sucede lo contrario para los valores de intensidad mayores, que tienden a ser concentrados en un rango estrecho de valores de salida.

Por tanto, esta transformación se emplea cuando se pretende expandir el rango de intensidad de los píxeles oscuros al mismo tiempo que se equiparan entre sí los píxeles más claros.

La utilidad práctica de este operador puede apreciarse en aquellas situaciones en las que la imagen de entrada posee un rango dinámico muy amplio y su representación, por tanto, nos llevará a distinguir únicamente píxeles negros y blancos.

Esta situación suele observarse con la representación de imágenes en el dominio de la frecuencia. El espectro de la imagen típicamente tiene valores significativamente mayores que el resto en el entorno de la frecuencia origen: gran parte de la potencia de la señal se concentra en las frecuencias más bajas. Por tanto, a la hora de representarlo gráficamente, no es posible apreciar la evolución de la señal hacia frecuencias mayores.

La figura 5 muestra un ejemplo de **cómo emplear la transformación logarítmica** para obtener una representación más informativa del espectro de una imagen. En este caso, se han realzado los píxeles en niveles menores de intensidad, manteniéndose prácticamente intactos aquellos píxeles cercanos al máximo valor de intensidad.

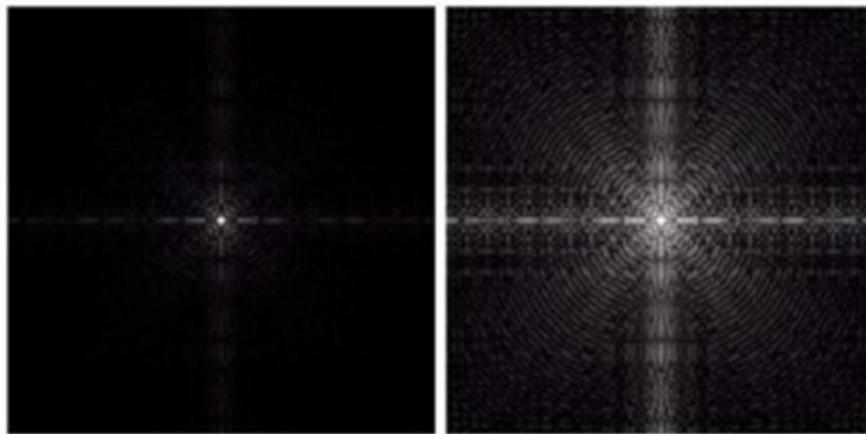


Figura 5. Ejemplo de utilización de una transformación logarítmica para el realce de las componentes frecuenciales más altas en el espectro de una imagen. Fuente: González y Woods, 2008.

Ley de potencia

La función de transformación de acuerdo a la ley de potencia viene dada por la siguiente expresión:

$$T(u) = Cu^\gamma$$

Donde C y γ son constantes positivas. El perfil de las funciones obtenidas de acuerdo a esta expresión se muestra en la siguiente imagen.

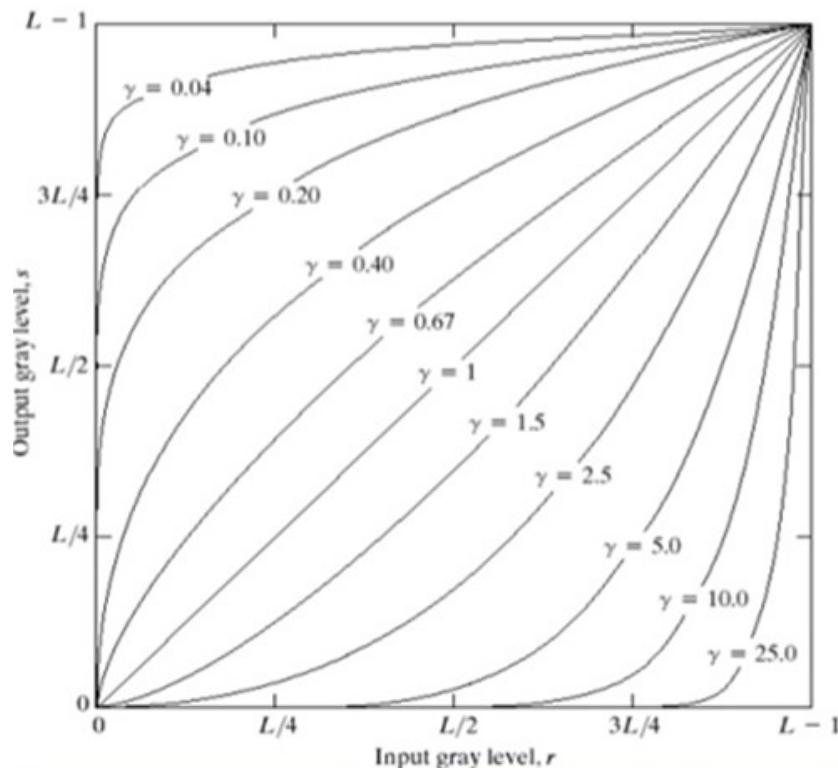


Figura 6. Funciones de transformación punto a punto obtenidas de acuerdo a la ley de potencias. Fuente: González y Woods, 2008.

Como en el caso de las transformaciones logarítmicas, valores de γ menores que la unidad tienden a expandir el rango de intensidad de los píxeles más oscuros, mientras que este se comprime para los píxeles más claros.

La ventaja de estas funciones respecto a la transformación logarítmica es la posibilidad de generar una amplia familia de transformaciones simplemente mediante la variación del parámetro γ .

Así, las curvas generadas con $\gamma > 1$ tienen exactamente un efecto opuesto a las correspondientes a $\gamma < 1$.

El origen de este tipo de transformación se encuentra en la respuesta observada en algunos dispositivos antiguos destinados a la captura de imagen o la impresión. Esta

respuesta obedece a una función de este tipo, por lo que es necesario aplicar una transformación opuesta para restaurar la imagen. Este procedimiento se conoce como **corrección gamma**, haciendo referencia al exponente de la función de transformación.

Funciones definidas a trozos

Las funciones anteriores tienen una expresión matemática para todo el dominio de aplicación, es decir, para cualquier valor de intensidad de entrada. Sin embargo, puede ser interesante aplicar diferentes transformaciones dependiendo del rango de intensidad de los píxeles sobre los que se opera. En esta situación, se emplean operadores definidos a trozos o tramos.

La **principal ventaja** de estas funciones es que su forma o expresión puede ser arbitrariamente compleja. Por ejemplo, puede dividirse el rango de intensidades de entrada en tantos tramos como se desee, definiéndose una transformación específica para cada uno de ellos.

Sin embargo, el **inconveniente más relevante** es que requieren un alto grado de participación del usuario para su definición. Generalmente, un humano define la función mediante la inspección visual del efecto producido por cada una de las transformaciones que se aplican sobre los diferentes tramos.

Una de las aplicaciones más comunes de este tipo de funciones es el **realce del contraste en una imagen**. En algunas situaciones, la imagen puede tener un rango dinámico pequeño debido a una pobre iluminación de la escena, el sensor empleado o la configuración de la lente empleada en la captura. Por tanto, la idea del realce del contraste es aumentar el rango dinámico de la imagen de entrada. Para ello, se trata de remarcar las diferencias entre píxeles cuyos valores de intensidad están concentrados en un rango intermedio. El perfil de la transformación será, en consecuencia, similar al mostrado en la figura 7.

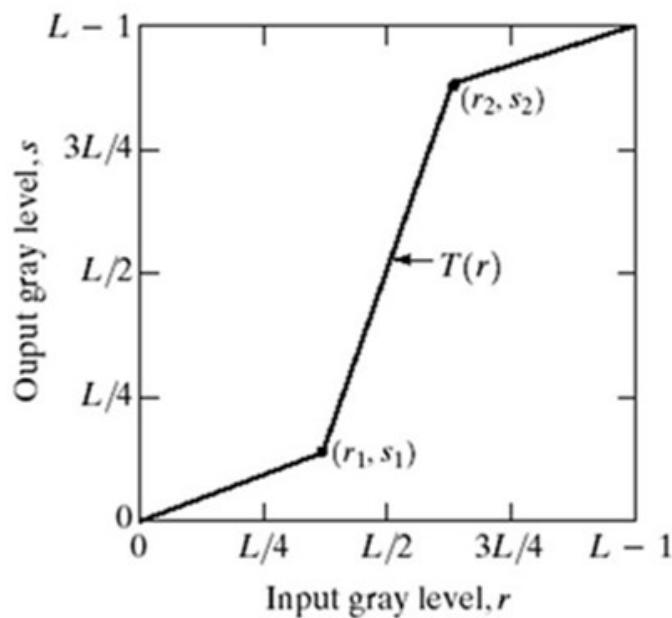


Figura 7. Perfil de la función de transformación definida a tramos para conseguir el realce de contraste.

Fuente: González y Woods, 2008.

Por otro lado, la figura 8 muestra el efecto de la aplicación de una transformación de este tipo sobre una imagen con un rango dinámico reducido. Como puede observarse, el resultado obtenido es un realce significativo respecto al contraste inicial entre los objetos y el fondo de la imagen.

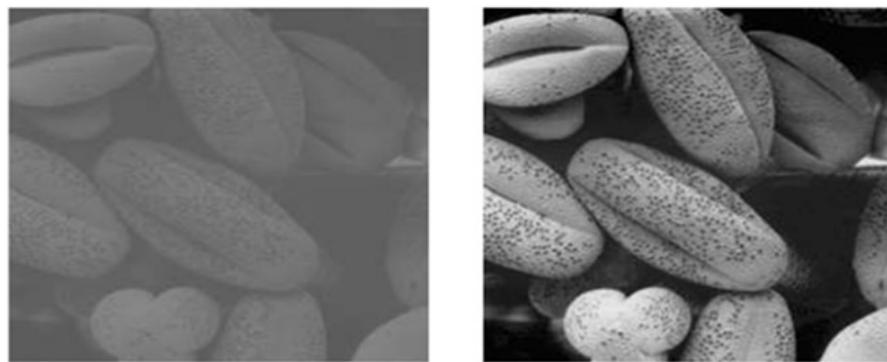


Figura 8. Ejemplo de realce de una imagen mediante la utilización de una función de transformación definida a tramos. Fuente: <https://www.mathworks.com/>

6.3. Procesado sistemático del histograma

Como se indicaba previamente, la expresión de la función de transformación definida a trozos para el realce de contraste se obtiene de forma manual, tras diferentes ciclos de prueba. Este modo de proceder conlleva demasiado y puede llegar a convertirse en una tarea tediosa. Una opción alternativa a este método para el realce de contraste es el procesado de la imagen basado en las propiedades de su histograma.

El histograma de una imagen proporciona una estimación de la función de densidad de probabilidad de la variable, la cual representa el valor de intensidad de los píxeles.

Para una imagen cuyos píxeles toman un nivel de intensidad de entre L niveles diferentes, el histograma se obtiene mediante el conteo del número de píxeles en cada nivel. Para obtener una versión normalizada en la que los conteos puedan interpretarse como probabilidades, el número de píxeles asociados a cada nivel se divide entre el número total de puntos en la imagen.

La **operación de igualación del histograma de una imagen** permite realizar el contraste de esta, ensalzando las estructuras presentes en la imagen de forma automática sin intervención externa del usuario.

Esta operación parte de la modelización matemática de la imagen de tamaño $N = n_r \times n_c$ como la realización de N variables aleatorias, una por cada píxel Y_i , que toma valores en el rango $L' - 1$. Se denota por f_{Y_i} a la función de densidad de probabilidad de cualquiera de estas variables aleatorias.

El objetivo de la transformación es convertir cada una de estas variables aleatorias en variables uniformes X_i en el rango $[0, \dots, L - 1]$.

Para ello, como es sabido, una variable aleatoria puede convertirse en uniforme transformándola a través de su **función de distribución**. Por tanto, basta con obtener la variable X_i como la transformación de Y_i a partir de su función de distribución:

$$X_i = F_Y(Y_i) = \int_{-\infty}^{Y_i} f_Y(\tau) d\tau$$

Sin embargo, la función de distribución de Y no es conocida, por lo que debe emplearse una **estimación** de la misma. Dicha estimación se obtiene a partir del histograma.

El valor de este para el nivel de intensidad l puede interpretarse como la probabilidad de que la variable Y tome dicho valor. Es decir:

$$P(Y = l) = p_l \cong \frac{n_l}{N}$$

Donde n_l es el número de píxeles con un nivel de intensidad l en la imagen. Por tanto, la función de distribución puede aproximarse mediante el histograma acumulado:

$$F_Y(l) = \sum_{k=0}^l p_k \quad l = 0, \dots, L-1$$

La figura 9 muestra un ejemplo en el que se emplea la igualación de histograma para realizar las estructuras de una imagen. Además del efecto logrado en la propia imagen, puede apreciarse el impacto de la transformación en el histograma. Este se caracteriza por un perfil más uniforme tras la transformación. En otras palabras, hay un mayor grado de dispersión en los valores de intensidad que toman los píxeles de la imagen transformada. En el caso de la original, estos tienden a estar concentrados en un rango menor de valores de intensidad.

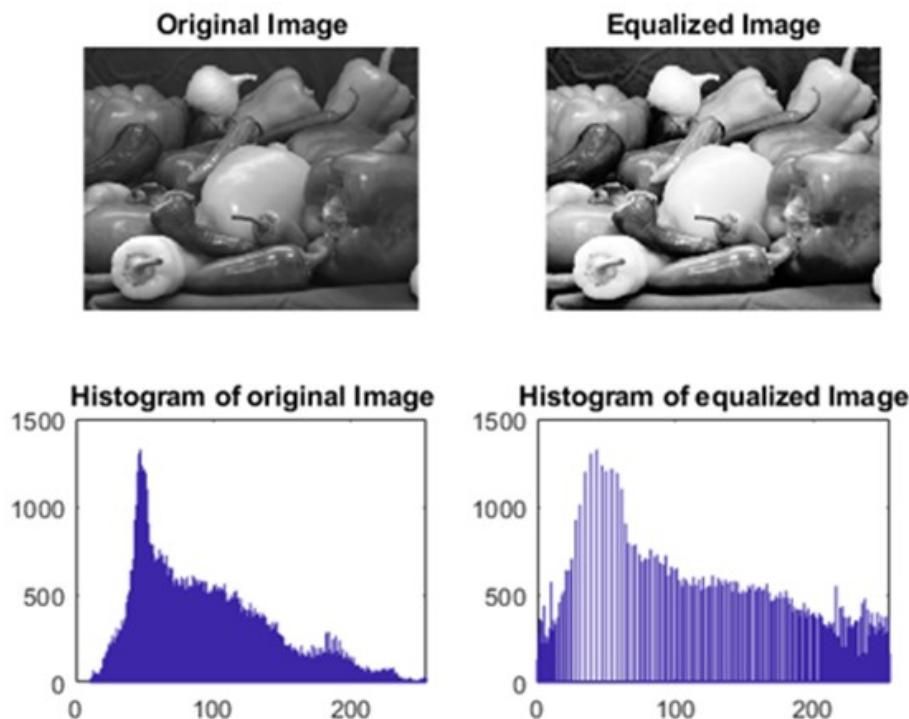


Figura 9. Ejemplo del realce de contraste mediante igualación del histograma. Fuente:

<https://www.mathworks.com/>

6.4. Suavizado y realce mediante operadores aritméticos

De las cuatro operaciones aritméticas posibles (suma, resta, multiplicación y división), la **resta** y la **suma** son los dos operadores más útiles en las etapas de preprocesado para conseguir el realce de una imagen.

Realce de imagen mediante el operador resta

La diferencia $C(x,y)$ entre dos imágenes $A(x,y)$ y $B(x,y)$ se obtiene mediante la resta entre cada par de píxeles en ambas:

$$C(x,y) = B(x,y) - A(x,y)$$

Esta operación permite **realzar las diferencias entre dos imágenes**. Sirva como ejemplo la figura 10.

- ▶ En la esquina superior izquierda se tiene la imagen original en la que cada píxel se codifica mediante 8 bits: hay 256 niveles diferentes de intensidad.
- ▶ La imagen de la esquina superior derecha se obtiene asignando un valor 0 al cuarto bit de cada píxel. Aparentemente, no se aprecia ninguna diferencia entre ambas imágenes.
- ▶ Sin embargo, esta hipótesis puede ser contrastada mediante la resta de las dos señales píxel a píxel. Este resultado se muestra en la imagen de la esquina inferior izquierda, que refleja cierta diferencia entre ambas imágenes.
- ▶ Para apreciarse mejor, en la esquina inferior derecha se ensalzan estas diferencias mediante una operación de igualación de histograma sobre la imagen anterior.

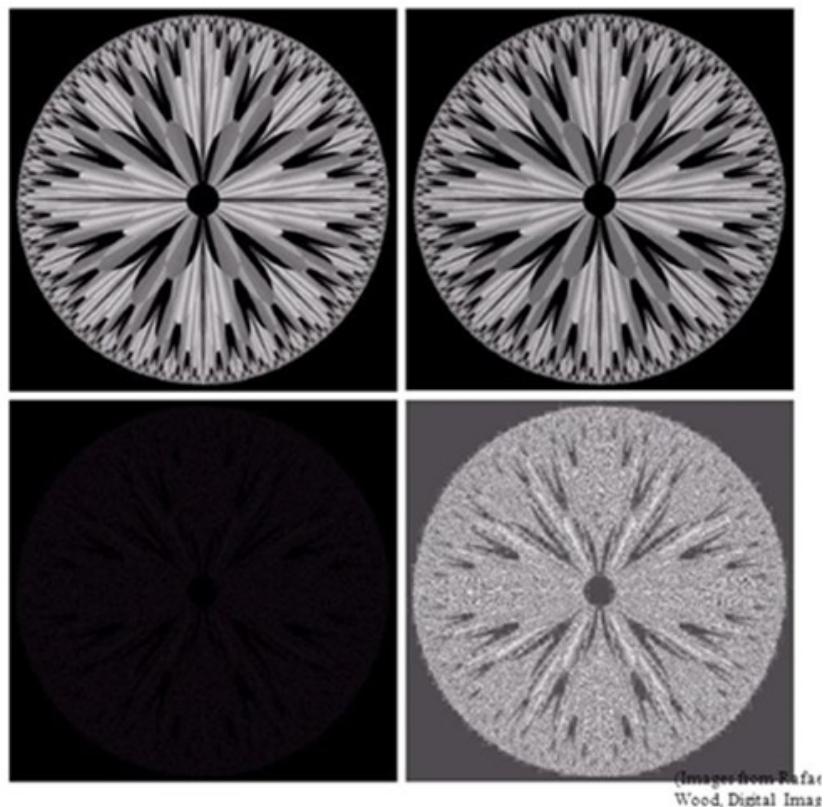


Figura 10. Utilización del operador resta entre dos imágenes para el realce de diferencias entre ambas.

Fuente: González y Woods, 2008.

Una de las aplicaciones prácticas más comunes de la sustracción de imágenes puede encontrarse en el **ámbito médico**. Partiendo de una imagen de referencia de un tejido vascular, en el que puede apreciarse una determinada sustancia, se toma a continuación una secuencia de imágenes de este tejido. Calculando la diferencia entre cada una de estas imágenes y la imagen de referencia, puede apreciarse el movimiento de la sustancia de interés, obteniéndose una especie de película a partir de las sucesivas diferencias.

Suavizado de imagen mediante el operador suma

De forma similar a la resta, el operador suma aplicado a dos o más imágenes consiste en la adición de los valores de intensidad de los píxeles correspondientes en cada una de ellas. El interés de este operador radica en su utilización para la

obtención de la imagen promedio a partir de un conjunto, lo que permite reducir el ruido de captación.

Así, para un conjunto de M imágenes $A_i(x,y)$ ($i = 1, \dots, M$), el promedio de estas se obtiene de la siguiente forma:

$$C(x,y) = 1/M \sum_{i=1}^M A_i(x,y)$$

Cada una de las instantáneas $A_i(x,y)$ puede verse como la realización de un **proceso estocástico espacial**, una variable aleatoria cuyas observaciones suponen imágenes. Por tanto, estas instantáneas serían expresadas matemáticamente de la siguiente forma:

$$A_i(x,y) = F(x,y) + \eta(x,y)$$

Donde:

- ▶ $F(x,y)$ representa la imagen ideal libre de ruido.
- ▶ El proceso estocástico $\eta(x,y)$ se asume estacionario y gaussiano, con media nula y varianza σ^2 .

Si el ruido aditivo $\eta(x,y)$ se asume incorrelado entre dos instantáneas cualesquiera de nuestro conjunto, puede demostrarse que el promedio de todas ellas tiende a la imagen $F(x,y)$:

$$\lim_{M \rightarrow \infty} C(x,y) = F(x,y)$$

La potencia del ruido de captación se atenúa de acuerdo a un factor M en la imagen promedio resultante:

$$\sigma_C^2 = \sigma^2 / M$$

Por último, reseñar que esta estrategia de realce basada en la atenuación del ruido de captación asume que las instantáneas de partida se encuentran perfectamente alineadas. De no ser así, el resultado final mostraría una clara difuminación de los bordes de las estructuras en la imagen.

En el siguiente ejemplo (figura 11) se muestra en la parte izquierda la imagen libre de ruido, en el centro una de las instantáneas capturadas afectada por ruido aditivo gaussiano y, en la derecha, el resultado de aplicar el promediado sobre un conjunto de instantáneas ruidosas.

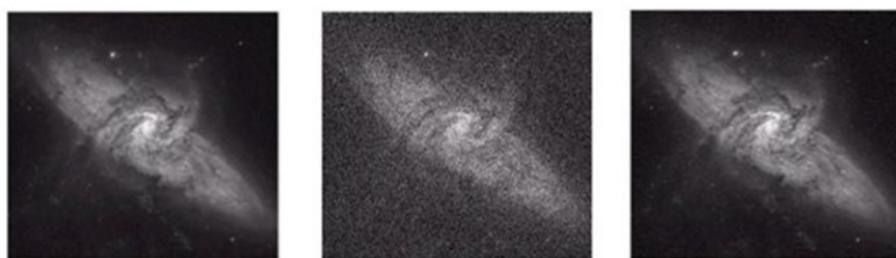


Figura 11. Ejemplo de utilización del promediado de imágenes para la atenuación del ruido de captación.

Fuente: González y Woods, 2008.

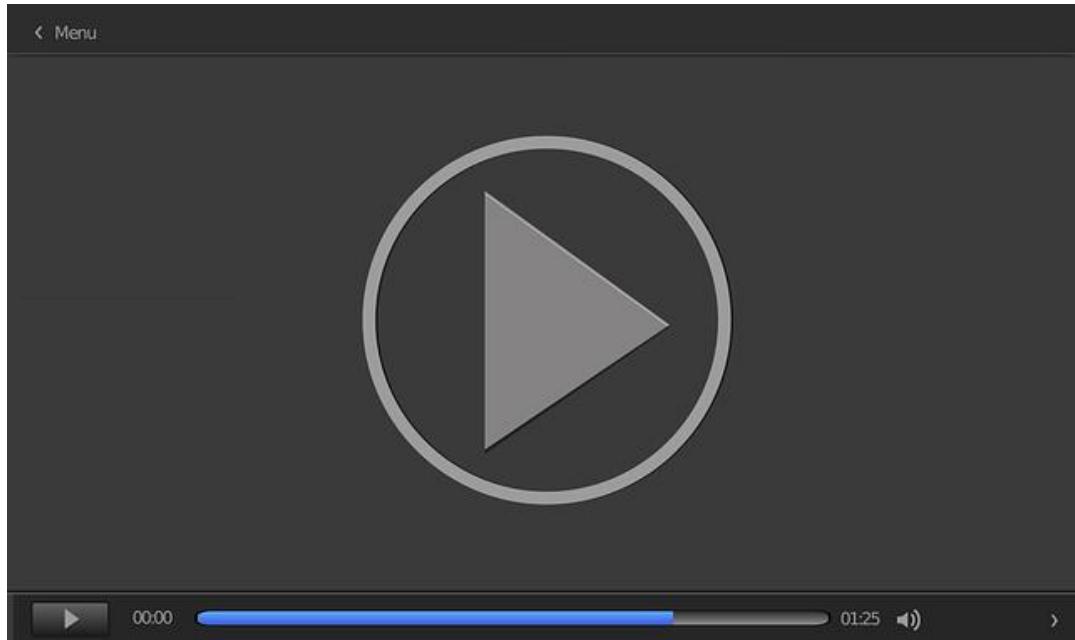
6.5. Referencias bibliográficas

González, R. C. y Woods, R. E. (2008). *Digital image processing*. New Jersey: Pearson Education.

Histograms and point operations

Rich Radke. (2015, febrero 15). *DIP Lecture 4: Histograms and point operations* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qKWPBzRD-U0>

Ejemplo de la utilización de operadores punto a punto sobre imágenes y revisión de conceptos que hemos visto como histograma, negativo digital, contraste, corrección gamma, etc.



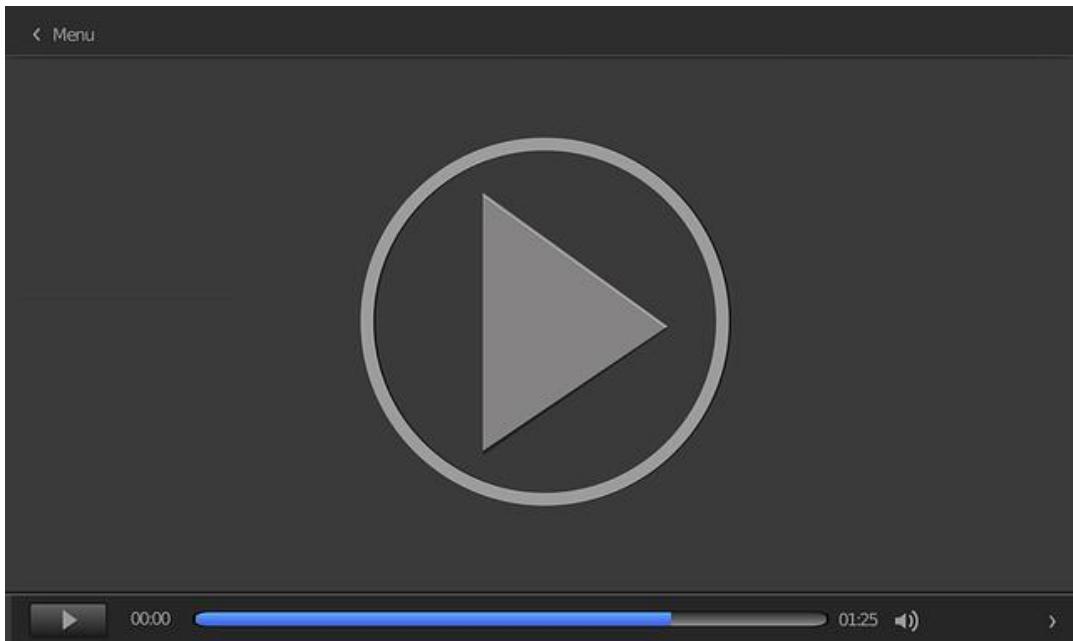
Accede al vídeo:

<https://www.youtube.com/embed/qKWPBzRD-U0>

Image Processing Matlab Point operations

Simon Xu. (2015, agosto 10). *The FFT Algorithm - Simple Step by Step* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=htCj9exbGo0>

Otro ejemplo sobre operadores punto a punto mediante el uso de Matlab.



Accede al vídeo:

<https://www.youtube.com/embed/htCj9exbGo0>

Operations or Functions on Images

School of Performance, Visualization & Fine Arts. (s.f.). *Visualitation. Student Work.* <https://pvfa.tamu.edu/academics/disciplines/visualization/>

Para practicar, te dejamos un enlace a un documento que repasa algunos de los operadores descritos en este tema y que se basa en el material proporcionado por H. E. Burdick en su libro *Digital Imaging: Theory and Applications*.

Bibliografía

Lim, J. S. (1990). *Two-dimensional signal and image processing* p. 710. New Jersey: Prentice Hall.

Mersereau, R. M. y Dudgeon, D. E. (1984). *Multidimensional digital signal processing*. New Jersey: Prentice Hall.

Pratt, W. K. (2013). *Introduction to digital image processing*. (Sin lugar): CRC Press.

Russ, J. C. (1994). *The image processing handbook*. Boca Raton: CRC Press.

1. ¿Cuál es la característica principal de un operador punto a punto en el procesado de imagen?

- A. El valor de la señal resultante en un pixel (x,y) es función únicamente del punto (x,y) de la imagen original.
- D. Son operaciones sencillas.
- C. El valor de la señal resultante en un pixel (x,y) es función únicamente del punto $(x-1,y-1)$ de la imagen original.
- D. El valor de la señal resultante en un pixel (x,y) es función del punto (x,y) de la imagen original y de su vecindad.

2. ¿En qué casos se suele aplicar la transformación que permite obtener el negativo de una imagen?

- A. Identificar bordes con orientación vertical.
- B. Aumentar el contraste.
- C. Realizar estructuras de mayor intensidad encerradas en áreas oscuras.
- D. Reducir el rango dinámico de la imagen.

3. ¿Qué operador tiende a expandir el rango de intensidad de los píxeles oscuros mientras que equipara entre sí los píxeles más claros?

- A. Suma de imágenes.
- B. Transformación logarítmica.
- C. Negativo de una imagen.
- D. Resta de imágenes.

4. ¿Qué ventaja proporciona el operador ley de potencia frente a la transformación logarítmica?

- A. Ninguna, el transformador logarítmico siempre es preferido.
- B. Permite reducir el rango dinámico de imágenes como, por ejemplo, las obtenidas en el dominio transformado.
- C. Permite generar una amplia familia de transformaciones simplemente mediante la variación de un parámetro, obteniéndose también sus transformaciones inversas.
- D. Se adapta mejor a imágenes con un histograma claramente concentrado en valores de intensidad más bajos.

5. ¿En qué situaciones emplearemos una función de transformación punto a punto definida a trozos?

- A. Siempre que queramos aumentar el contraste de nuestra imagen de partida.
- B. Si pretendemos aplicar diferentes transformaciones dependiendo del rango de intensidad de los píxeles.
- C. No es recomendable emplear este tipo de funciones sobre imágenes.
- D. Si el contenido de la imagen refleja frecuencias elevadas.

6. ¿Qué representa el histograma de una imagen?

- A. Su rango dinámico.
- B. El grado de contraste observado en la imagen.
- C. La probabilidad *a posteriori* de cada uno de los píxeles de la imagen cuando se ha observado previamente el valor de los píxeles vecinos.
- D. Una estimación de la función de densidad de probabilidad de la variable que representa el valor de intensidad de los píxeles.

7. ¿Por qué se emplea la transformación punto a punto mediante la función de histograma?

- A. Reduce el ruido de la imagen original.
- B. Permite estimar la función de densidad de probabilidad de la imagen y, por tanto, su distribución estadística.
- C. Permite aumentar el contraste de la imagen, pues convierte la distribución de los píxeles en uniforme.
- D. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

8. El operador resta de imágenes:

- A. Todas las respuestas que se dan a continuación podrían ser válidas.
- B. Permite evaluar las diferencias entre dos imágenes.
- C. Si dos imágenes de una misma escena se toman en instantes diferentes, la resta de ambas tomará valores distintos de cero como consecuencia del ruido.
- D. Permite realzar detalles a partir de una secuencia de instantáneas de un mismo escenario.

9. El operador suma de imágenes:

- A. Se emplea para reducir el ruido a partir de una secuencia de instantáneas de una misma escena.
- B. Se emplea para realzar el ruido de una imagen.
- C. Se emplea para aumentar el contraste de una imagen.
- D. Ninguna de las respuestas que se han dado previamente podrían ser válidas.

- 10.** Hemos calculado la transformada de Fourier de una imagen y al visualizar su módulo solo apreciamos un pequeño punto blanco en el centro que se corresponde con la componente continua de la señal. ¿Cuál sería la mejor opción de entre las que se proponen para aumentar el contraste de esta imagen módulo y apreciar así otras componentes frecuenciales?
- A. Transformación logarítmica.
 - B. Transformación basada en el histograma.
 - C. Operador resta
 - D. Función definida a trozos.