
Procesamiento Digital de Imágenes

Operaciones de luminancia.

Claudio Delrieux

Laboratorio de Ciencias de las Imágenes – UNS - CONICET

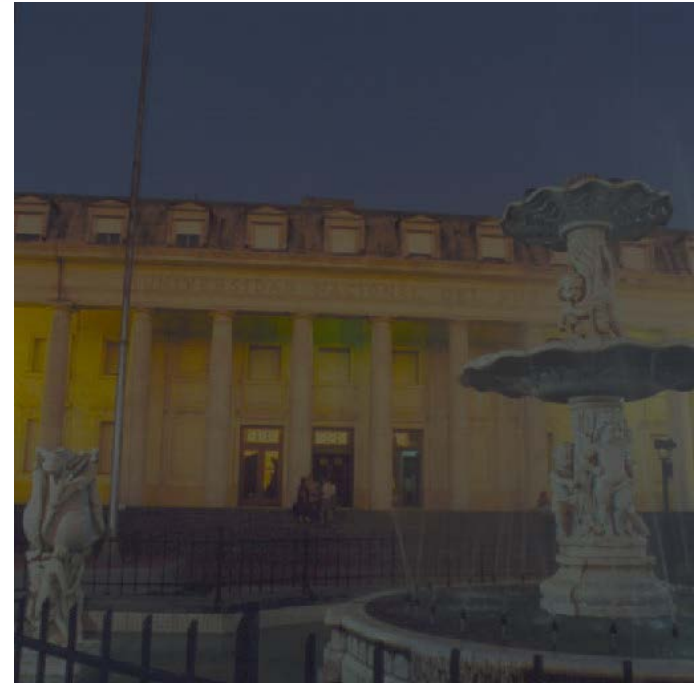
cad@uns.edu.ar

PDI – Histograma de luminancia

Seguramente si vemos una imagen fotográfica como la de la derecha, tendríamos la descripción como que la misma “está oscura”.

Igualmente, podemos imaginar la situación conversa, cuando una imagen fotográfica está “quemada” porque la iluminación quedó muy saturada.

También está la situación donde la imagen no está ni oscura ni quemada, pero es difícil distinguir los objetos porque le “falta contraste” (la luminancia de los pixels es muy parecida).



PDI – Histograma de luminancia

Existe una forma de describir estas situaciones, y que además permite pensar en métodos para poder corregirlas.

La misma se basa en evaluar cómo están distribuidas las luminancias de los pixels de una imagen, elaborando un *histograma*, en el cual se puede observar si la mayoría de los pixels son muy oscuros, o muy brillantes, o están concentrados en luminancias muy similares. <https://es.wikipedia.org/wiki/Histograma>

La técnica para manipular el histograma de luminancias de una imagen se denomina *ecualización*, aunque es un nombre no del todo correcto como veremos a continuación.

PDI – Histograma de luminancia

Encontrar el histograma de luminancias es relativamente sencillo. Recordemos que la luminancia viene dada por el canal Y del espacio YIQ, el cual se puede calcular con la primera fila de la matriz de transformación de RGB a YIQ:

$$Y := 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B,$$

recordando siempre que R, G, y B deben estar *normalizados* (en [0, 1]) antes de calcular Y.

Los valores de Y de cada pixel estarán entre 0 y 1. La idea es hacer un histograma que nos permita conocer la proporción o frecuencia relativa de cada luminancia.

PDI – Histograma de luminancia

Para encontrar un histograma en una serie de valores, una de las técnicas más eficientes es definir primero cuántas “columnas” queremos que tenga el histograma, subdividiendo los posibles valores en rangos de igual tamaño.

Por ejemplo, en nuestro caso, podríamos querer un histograma con 10 columnas, por lo que los rangos de Y de cada columna serán $[0, 0.1)$, $[0.1, 0.2)$, \dots , $[0.9, 1]$.

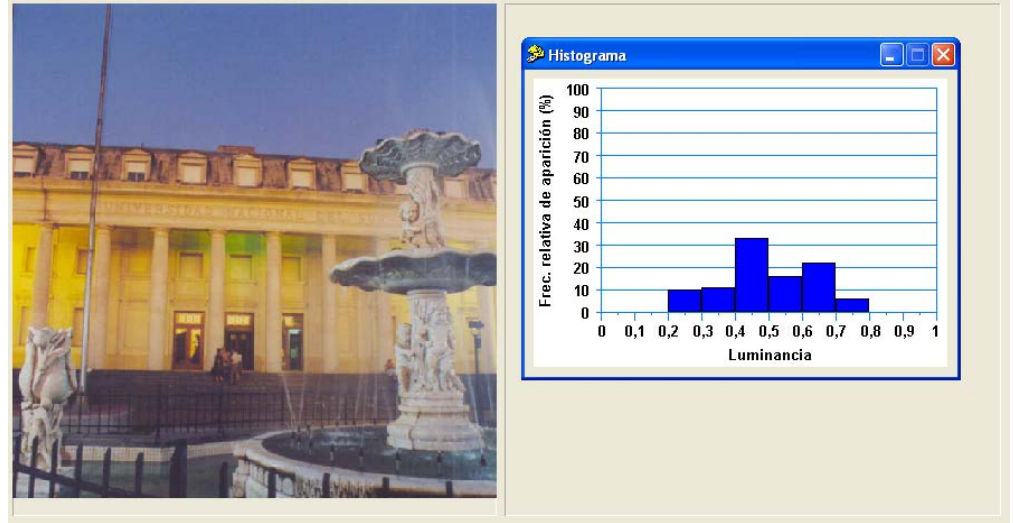
Definimos un arreglo $h[10]$ de contadores enteros, con todos sus valores iniciales en cero, y luego para cada pixel vemos en qué rango cae su Y y de acuerdo a ese valor incrementamos el contador en el lugar correspondiente del arreglo.

Ejercicio propuesto: implementar esta idea con 10, 20, 50 contadores.

PDI – Histograma de luminancia

Vemos ahora una imagen de ejemplo y su histograma. Observen que en el mismo se cuenta la frecuencia relativa, es decir, cada contador se dividió por la cantidad de pixels totales de la imagen para obtener un porcentaje.

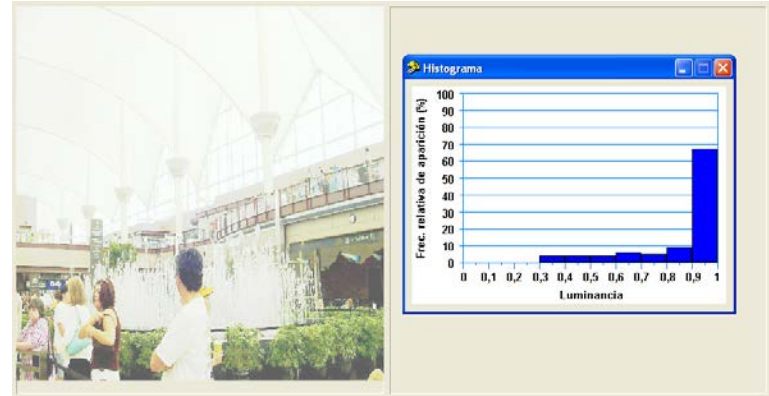
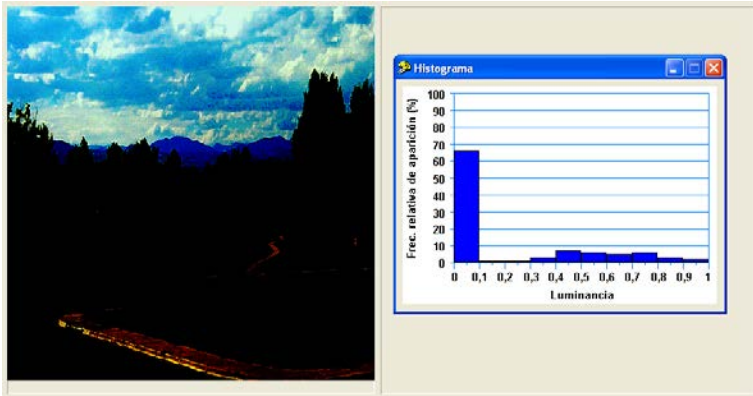
Este histograma básicamente nos permite ver que la imagen no aprovecha todos los valores posibles de luminancias (le falta *rango dinámico*).



PDI – Histograma de luminancia

Cómo podemos caracterizar los posibles defectos (desde el punto de vista de la iluminación) que puede tener una imagen, viendo su histograma?

Vemos dos casos típicos y sus histogramas. Se puede ver con claridad lo que sucede.



PDI – Histograma de luminancia

Claramente uno imagina que puede corregirse la mala iluminación en la imagen simplemente subiendo o bajando la luminancia (es decir, multiplicando el Y de cada pixel por un escalar α , respectivamente mayor o menor a 1, como hicimos en la actividad práctica anterior).

Ejercicio propuesto: probar estas ideas con las imágenes de ejemplo.

Si hacen la prueba, podrán constatar como haremos ahora, que la idea no da resultado. Veamos por qué.

PDI – Histograma de luminancia

Cuál es el efecto, en el histograma, de multiplicar el Y de cada pixel por un escalar? Supongamos, como ejemplo, que multiplicamos cada Y por 2. Eso significa que todos los pixels que antes tenían luminancia 0.1 pasarán a tener luminancia 0.2, etc.

Y qué ocurre con los pixels que tenían luminancia mayor o igual a 0.5? Sabiendo que el valor máximo de luminancia posible es 1, entonces tenemos que *coercionar* el valor a 1. La operación que estamos realizando es entonces:

$$Y' := 2 * Y;$$

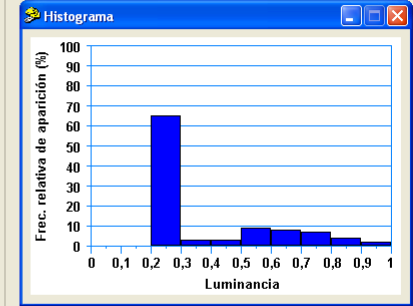
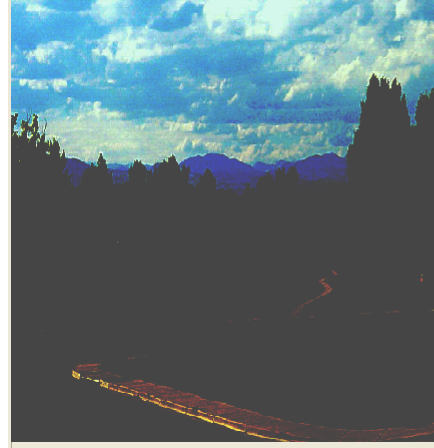
if $Y' > 1$ then $Y' := 1$; {este condicional se denomina *clamping* o *anclaje*}

PDI – Histograma de luminancia

Vemos por ejemplo en el primero de los casos cómo en efecto la idea no da el resultado deseado (si bien es cierto que la iluminación aumentó).

Está claro que por mucho que intentemos con multiplicar las luminancias por un mismo escalar, el resultado será “mover” el histograma, sin alterar el hecho inadecuado, que es que muchos pixels tienen una luminancia similar.

O sea, necesitamos es “desparramar” los pixels oscuros, y “comprimir” los brillantes.



PDI – Histograma de luminancia

Es claro que ninguna función lineal (como por ejemplo multiplicar por un escalar) puede lograr este cometido, en este caso la función es $Y' = f(Y) = \alpha * Y$.

Una forma de entender que una función es lineal, es que su gráfico forma una línea recta. Otra forma (que nos va a servir más adelante) es ver que “conmuta” su aplicación a sumas y productos:

$$f(\alpha * A + \beta * B) = \alpha * f(A) + \beta * f(B)$$

https://es.wikipedia.org/wiki/Función_lineal

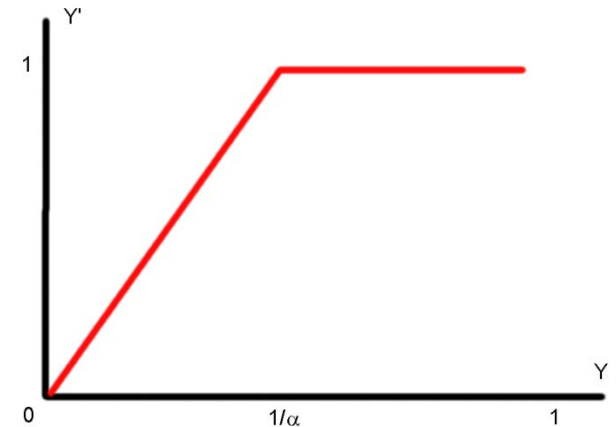
PDI – Histograma de luminancia

Podemos entonces pensar nuestra función anterior

$$Y' := 2 * Y;$$

if $Y' > 1$ then $Y' := 1$;

como una función “lineal a trozos” que crece con pendiente α hasta que alcanza 1, y luego se mantiene constante en 1.



Es MUY importante entender que cuando la pendiente de esta función es mayor que uno, está “desparramando” las luminancias, y cuando es menor que uno, las “junta”.

PDI – Histograma de luminancia

Qué pasaría entonces si utilizamos una función **NO** lineal?



En nuestro caso, necesitamos una función que comience desparramando las luminancias bajas, y comprimiendo las luminancias altas, pero sin tener nunca un cambio abrupto.

Funciones como la raíz (de cualquier radical) o el logaritmo cumplen con este criterio.



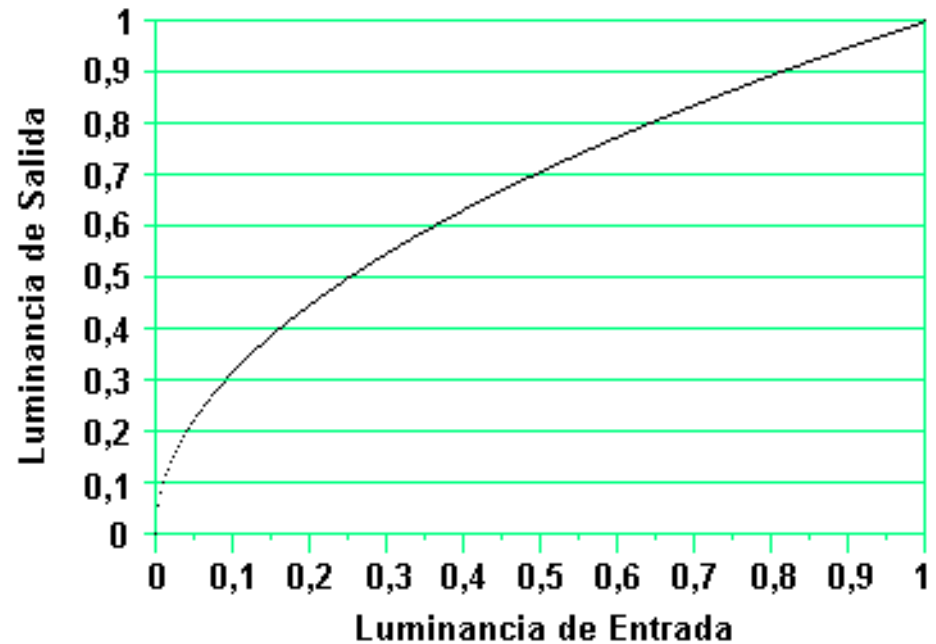
PDI – Histograma de luminancia

De todas, elegiremos la raíz cuadrada, dado que es muy fácil de entender y de aplicar.

Nuestra función de manipulación de luminancia queda ahora:

$$Y' := \text{sqrt}(Y);$$

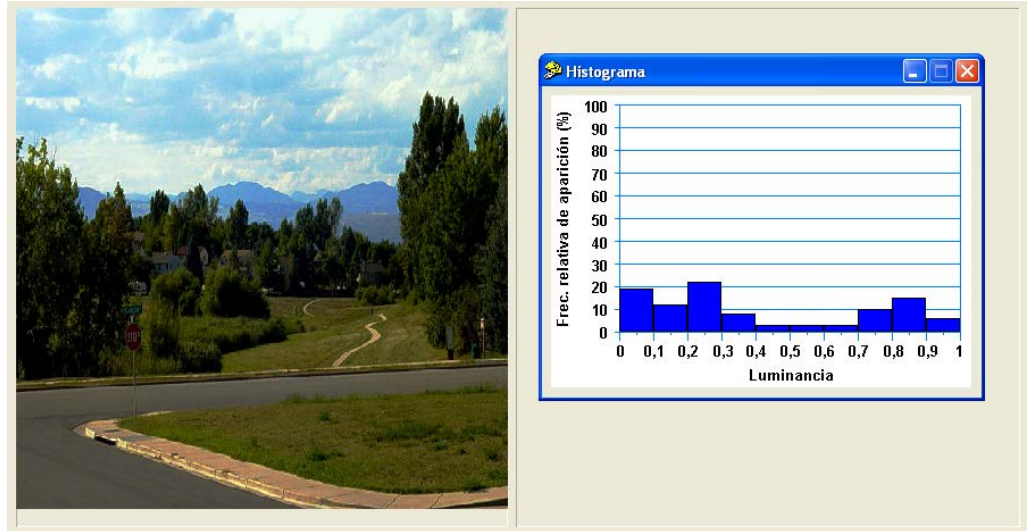
Notar que no es necesario clampear.



PDI – Histograma de luminancia

Todo esto es muy interesante pero abstracto. Vemos sin embargo cómo al aplicar el procesamiento sugerido el histograma queda equilibrado y la imagen de mucha mejor calidad.

Observación no menor: podemos aplicar este procesamiento **SIN** conocer el histograma de la imagen, solamente viendo que está oscura.



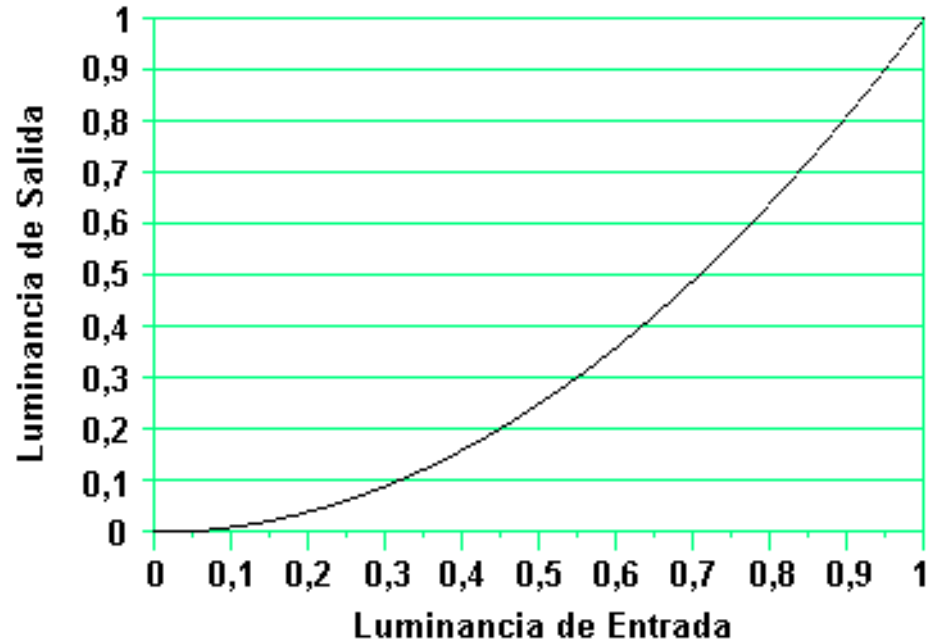
PDI – Histograma de luminancia

Razonando en forma simétrica, la función adecuada para mejorar una imagen muy iluminada será la función cuadrática:

$Y' := Y^2$; {o \sqrt{Y} si el lenguaje tiene}

Tanto $\sqrt{}$ como ^2 mapean el intervalo $[0, 1]$ a $[0, 1]$ (Y' no se va de rango).

También, $\sqrt{}$ es siempre mayor a la identidad, o sea, todas las luminancias se incrementan (y viceversa con ^2).



PDI – Histograma de luminancia

Cómo hacemos entonces para implementar estas ideas? Básicamente reproducimos el workflow del trabajo práctico anterior, con algún cambio:

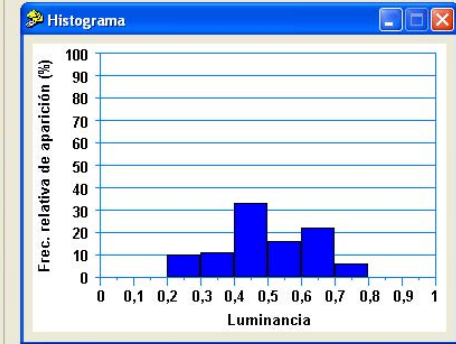
1. Normalizar los valores de RGB del pixel
2. RGB \rightarrow YIQ {utilizando la matriz correspondiente}
3. $Y' := f(Y)$; {sqrt() o sqr() según se elija}
4. $Y'IQ \rightarrow R'G'B'$ {notar que la cromaticidad (IQ) no se altera}
5. Convertir $R'G'B'$ a bytes y graficar el pixel

Fácil! No dejen de probarlo.

PDI – Histograma de luminancia

Vamos ahora a considerar el caso más complejo de una imagen con mal contraste o mal rango dinámico, como el que vimos arriba.

En este caso, no queremos ni oscurecer toda la imagen, ni aclararla toda. Más bien queremos que los pixels oscuros se vuelvan más oscuros y viceversa.

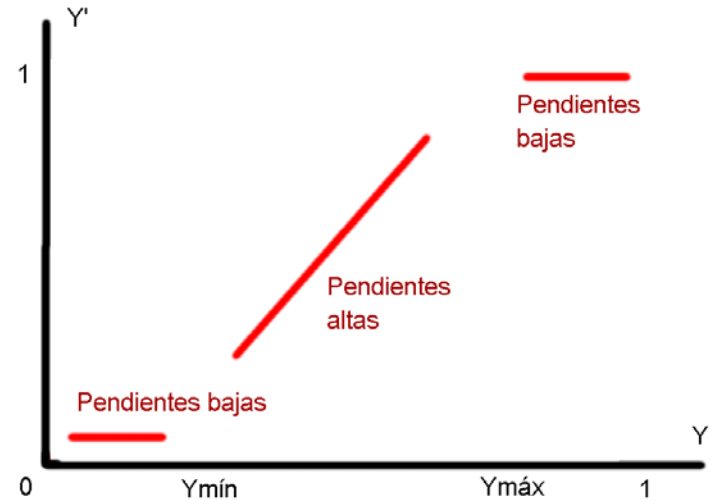


PDI – Histograma de luminancia

Una forma de entender cómo armar este nuevo caso es ver que en la imagen a procesar ningún pixel tiene luminancia menor que Y_{\min} ni mayor a Y_{\max} .

Por lo tanto, queremos desparramar las luminancias que están entre estos dos valores, o sea mapear el intervalo $[Y_{\min}, Y_{\max}]$ a $[0, 1]$.

Eso se puede lograr con una función que tenga pendientes bajas entre 0 y Y_{\min} , luego altas hasta Y_{\max} , y luego de nuevo bajas hasta 1.



PDI – Histograma de luminancia

Esta función se conoce como “lineal a trozos”. Vemos un ejemplo donde $Y_{\min}=0.2$ y $Y_{\max}=0.8$.

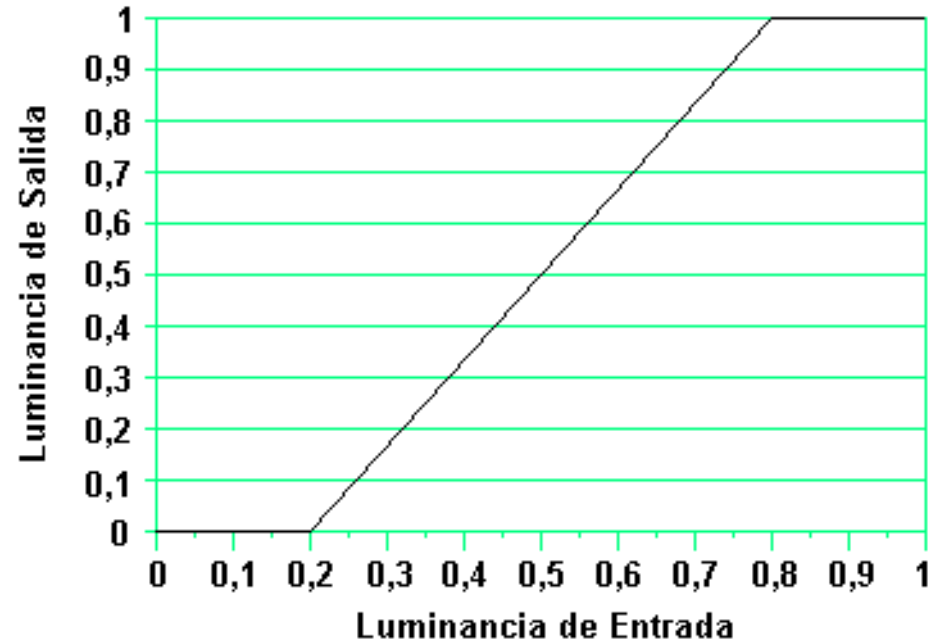
La forma de implementar esta función es por casos:

si $Y < Y_{\min}$ entonces $Y'=0$

si $Y > Y_{\max}$ entonces $Y'=1$

caso contrario, realizar interpolación:

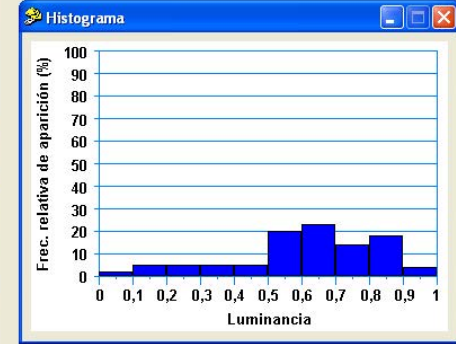
https://es.wikipedia.org/wiki/Regla_de_tres



PDI – Histograma de luminancia

Vemos que en efecto el resultado de este filtrado o procesamiento mejoró el contraste de la imagen, haciéndola más “vívida”.

El histograma, por su parte, es una versión “estirada” del anterior (ahora todas las luminancias son no nulas).

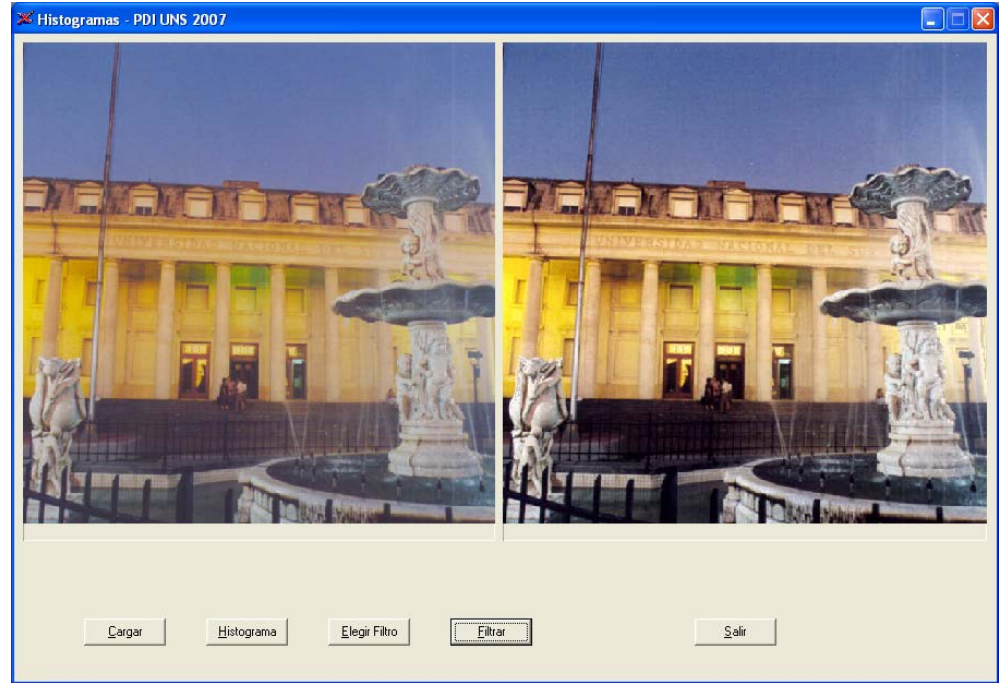


Un problema con este procesamiento es que debemos conocer o estimar Y_{\min} e Y_{\max} , pero se puede aplicar por prueba y error. Por eso es **FUNDAMENTAL** la experiencia.

PDI – Actividades prácticas

Recapitulamos las ideas y pautas de trabajo. Lo ideal es que desarrollen un aplicativo que pueda abrir una imagen, y luego ver la imagen procesada. Se debe poder elegir filtro raíz, cuadrado, o lineal a trozos.

Los controles para elegir los filtros los organizan como les resulte más cómodo.



PDI – Histograma de luminancia

Hay, además de estos tres filtros de manipulación de luminancia, otras ideas más generales (adaptativas, es decir, que tienen en cuenta el histograma de la imagen).

Las ideas subyacentes tienen que ver con qué se entiende por un histograma “correcto” o adecuado. Para algunos, el histograma tiene que poder modelarse con una distribución normal (Gaussiana), con una media 0.5 y variancia 1, mientras que otros opinan que todas las luminancias deberían tener igual frecuencia.

Estas dos técnicas se denominan, respectivamente *normalización* del histograma, y *ecualización* del histograma.

PDI – Histograma de luminancia

Estas técnicas no son extremadamente complejas. La normalización simplemente ajusta la media y variancia del histograma original a la Gaussiana de referencia por medio de una función sigmoïdal: [https://en.wikipedia.org/wiki/Normalization_\(image_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Normalization_(image_processing))

En el caso de la ecualización, la idea es asignar a cada pixel una luminancia proporcional a la cantidad de pixels menos luminosos que él mismo, lo cual es muy sencillo de computar con un histograma acumulativo:

https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization

Estas ideas quedan para interesados en temas avanzados (y perdón por los links en inglés).