

## **PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES APLICACIONES FORENSES**

Lic. Antonio Oscar Forte  
Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes  
Laboratorio Forense  
Dirección General de Asesorías Periciales  
Suprema Corte de Justicia  
Provincia de Buenos Aires – Argentina

El Laboratorio de Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes de la Asesoría Pericial La Plata, dependiente de la Dirección General de Asesorías Periciales de la Suprema Corte de Justicia de la Provincia de Buenos Aires, único en su tipo, se desempeña, tanto en modo interdisciplinario como individual, con las distintas Secciones de esta Asesoría. Cuenta con equipamiento que permite el ingreso por vía digital de cualquier objeto, ya sea en el campo macroscópico, mesoscópico (lupa binocular) o microscópico, lo cual otorga el beneficio del procesamiento y análisis digital de éstos en un ordenador. Esto se realiza mediante cámaras digitalizadoras tipo CCD, las cuales se adaptan a los tres formatos antedichos o, en casos particulares, con escáner de alta resolución.

Esta técnica permite, al ser digital la imagen, manipularla con programas adecuados, a fin de poder determinar un sin número de propiedades.

Una de las cámaras capta solamente el espectro visible, o sea el rango comprendido entre las longitudes de onda de 0.4 y 0.70 nanómetros del espectro electromagnético, siendo esto simplemente lo que ven nuestros ojos (las combinaciones de rojo, verde y azul), región esta muy pequeña del campo de las ondas electromagnéticas.

En este amplio espectro, (el de las ondas electromagnéticas), sin embargo, existen diversos rangos de “luz” que nuestros ojos y los sensores convencionales no pueden “ver”, como el rango Ultravioleta, y fundamentalmente el Infrarrojo. Esto es solucionado con una segunda cámara digital tipo CCD Multiespectral, la cual es sensible a los rangos anteriormente mencionados, quedando así cubierto, en gran parte, el rango del espectro electromagnético.

### **Génesis y desarrollo del procesamiento y análisis de imágenes digitales.**

A diferencia del estudio de los mecanismos de la visión humana, el procesamiento y análisis de imágenes digitales nace en el momento en que se dispone de recursos tecnológicos para captar y manipular grandes cantidades de información espacial en forma de matrices de valores.

Históricamente, la primera vez que se hizo uso de las técnicas de imágenes digitales fue en los años veinte en la transmisión de imágenes de fotografías periódicas a través de cable submarino entre Londres y New York. Esto supuso que el tiempo entre emisión y recepción de las imágenes se reduzca de una semana (por barco) a tres horas (por cable). A partir de esto y durante algún tiempo, se desarrollaron las técnicas de codificación y reproducción de las imágenes logrando pasar en la representación de imágenes de cinco a quince tonos de gris.

Pero estos hechos pueden considerarse aislados y no es hasta los años 50-60 en que aparecen los primeros computadores digitales y la necesidad de disponer de técnicas para la transmisión y

procesamiento de imágenes desde satélite, cuando estas técnicas empiezan a ser desarrolladas de forma sistemática.

Cabe citar el impulso dado a las técnicas de transmisión, realce y restauración de imágenes por el Jet Propulsion Laboratory (EEUU), encargado del procesamiento de las imágenes emitidas por los primeros satélites de la carrera espacial.

El MIT, junto con la Universidad de Stanford, trabajaron durante los años setenta en temas de visión aplicada a robótica bajo el proyecto *Hand-Eye*. Otros proyectos que también han influido en el desarrollo de estas técnicas son el *PIPS* (Pattern-Information Processing System) Japonés y el Norteamericano *UIS* (Image Understanding System). Este último proyecto marca el comienzo del uso de estas técnicas en aplicaciones de tipo militar, lo que ha supuesto, desde entonces, una fuente importante de inversiones para su desarrollo.

Es a partir de ese momento cuando se puede observar el comienzo de cierta especialización y catalogación de las técnicas existentes. Así, aparecen los conceptos de ***técnicas para el procesamiento de imágenes digitales*** como el conjunto de todas aquellas técnicas asociadas a la captura, codificación y representación de las imágenes que no introducen sobre las mismas ningún tipo de interpretación, y ***técnicas para el análisis de imágenes digitales, técnicas de visión por computador o visión mediante robot*** como acepciones que se refieren a aquellas técnicas que tratan de extraer la información presente en la imagen con el fin último de hacer una interpretación de la escena representada por dicha imagen.

Durante los años ochenta las técnicas de análisis de imágenes se desarrollan de forma vertiginosa como consecuencia de la gran cantidad de aplicaciones que aparecen y la madurez alcanzada en el diseño de arquitecturas de computadores.

A partir de la segunda mitad de la década de los 80 se inicia un creciente interés hacia el desarrollo de nuevas teorías y algoritmos para la interpretación de la imagen 2D como proyecciones de escenas 3D. En particular cabe mencionar los problemas asociados a la reconstrucción de escenas a partir de distintas proyecciones, el estudio del flujo óptico y sus múltiples aplicaciones a la caracterización de superficies 3D, la caracterización de superficies a partir del estudio del movimiento, el estudio de las formas a partir de las sombras, las técnicas de representación y búsqueda de objetos, el estudio de la orientación a partir de texturas, etc.

Este interés por el estudio de problemas de mayor complejidad ha ido paralelo al desarrollo de nuevas generaciones de ordenadores a precio asequible que permitieron la experimentación con imágenes cada vez más complejas en su interpretación.

De forma paralela, en el tiempo, al desarrollo de las técnicas y métodos matemáticos hasta ahora expuestas, se han venido desarrollando diferentes arquitecturas de computadores específicas para el procesamiento de datos de imágenes digitales.

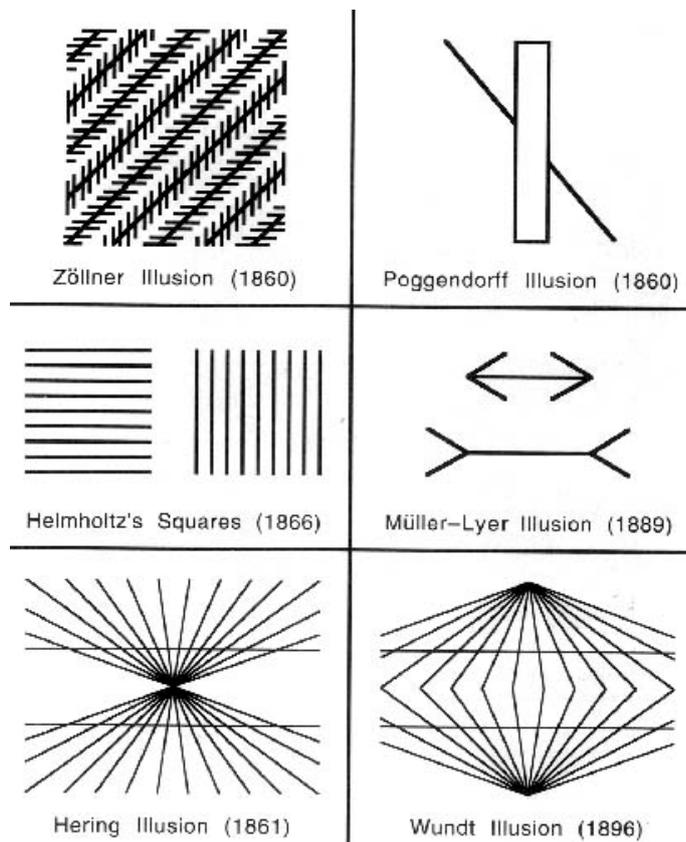
### **Los problemas de la percepción.**

Una de las preguntas que uno puede hacerse es por qué los investigadores en visión artificial no construyen simplemente un sistema que emule el sistema visual humano, teniendo en cuenta la enorme cantidad de publicaciones en neurofisiología, psicología y psicofísica. Una buena razón por la que los investigadores en visión artificial no emulan la visión humana es porque lo que se conoce del sistema de visión humano más allá del propio ojo es principalmente disjunto, especulativo y escaso. Pero hay más, aunque el sistema de visión humano es adecuado para muchas tareas, es obvio, como veremos, que adecuado no equivale a infalible. La no infalibilidad del sistema es ampliamente demostrada por la existencia de ilusiones visuales.

### **Ilusiones Visuales, Ambigüedades e Inconsistencias.**

El sistema de visión humano, como otras partes de la anatomía del cuerpo humano, es fruto de la evolución y retos a que se ha visto sometido el ser humano en su supervivencia. Como consecuencia de esto el sistema de visión humano responde a unos patrones mejor que otros y además puede auto engañarse al aplicar pautas de interpretación en situaciones ambiguas por la existencia de ilusiones visuales, ambigüedades e inconsistencias.

Las siguientes figuras ilustran lo antedicho.



### **Formación de la Imagen.**

Para comprender como los seres vivos ven y asimilan la información que les llega a través de sus sensores, debemos estudiar las tres partes que comportan este problema: las señales que percibimos, el medio en que se transmiten y los mecanismos de decodificación del sistema receptor y / o cerebro. Gran parte de las técnicas de procesamiento de señales están asociadas a problemas en la adquisición de dichas señales y más en particular al tipo de sensor usado y al medio a través del cual se han obtenido.

Aunque el ojo humano, como sensor, es un mecanismo demasiado especializado, el proceso de formación de la imagen que se lleva a cabo en su interior puede considerarse como genérico para cualquier otro sensor de tipo visual. Es por ello que el estudio del funcionamiento del ojo como sensor mejor adaptado al procesamiento de señales visuales es de gran interés para conocer aspectos básicos de los métodos de captación de imágenes.

## **El origen de los datos.**

Antes de iniciar ningún estudio sobre técnicas de procesamiento y / o análisis de imágenes digitales debemos preguntarnos cuál es la base de la formación de dichas imágenes. De forma genérica podemos asociar el concepto de imagen al de un “mapa espacial” o espacio-temporal que sobre una determinada información nos produce un tipo de sensor. Ejemplos de este tipo de “mapas” son nuestras percepciones de una determinada situación o escena a partir de nuestros sistemas sensoriales (vista, oído, tacto, gusto, y olfato).

Para centrar aun más nuestro estudio nos preguntaremos sobre el significado real de lo que significa ver o adquirir información a través de un sistema sensorial de tipo visual. Si nos centramos en el modelo visual humano asociaremos el concepto de ver con el de percibir una señal luminosa con una intensidad mínima y en un rango de frecuencia espectral dado. Sin embargo, hoy en día son bien conocidas las posibilidades de obtener imágenes a partir de sensores que trabajen en condiciones muy distintas de iluminación a las que es sensible el ojo humano, p.e. el infrarrojo, rayos X, etc. Así pues, la posibilidad de formar imágenes debemos asociarla al tipo de sensor usado y a las posibilidades de que dicho sensor sea capaz de captar y decodificar la información que le llega. Este punto de vista nos sitúa en una situación más general de lo que sería el simple estudio de las imágenes en color captadas por nuestros ojos.

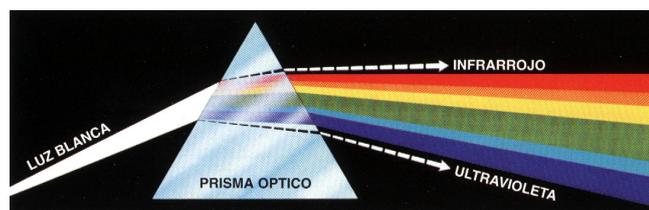
Otra pregunta importante es ¿cuanta información podemos obtener sobre una determinada escena cuando usamos un determinado sistema sensorial?

Para contestar adecuadamente debemos hacer uso de las propiedades físicas de la interrelación de la materia con las ondas electromagnéticas como vehículo de transmisión. Un hecho conocido de la física básica es que el espectro electromagnético de una sustancia es lo que podríamos llamar la huella digital de la misma. Así pues, si observamos una escena usando un sensor que es sensible a unas determinadas bandas de frecuencia, la información que obtendremos será la gráfica de valores de la respuesta espectral de dicha escena en las frecuencias del espectro a las que es sensible el sensor. Por ejemplo, en el caso de humanos, los ojos distinguen solamente tres bandas del espectro electromagnético asociadas a los colores rojo, azul y verde.

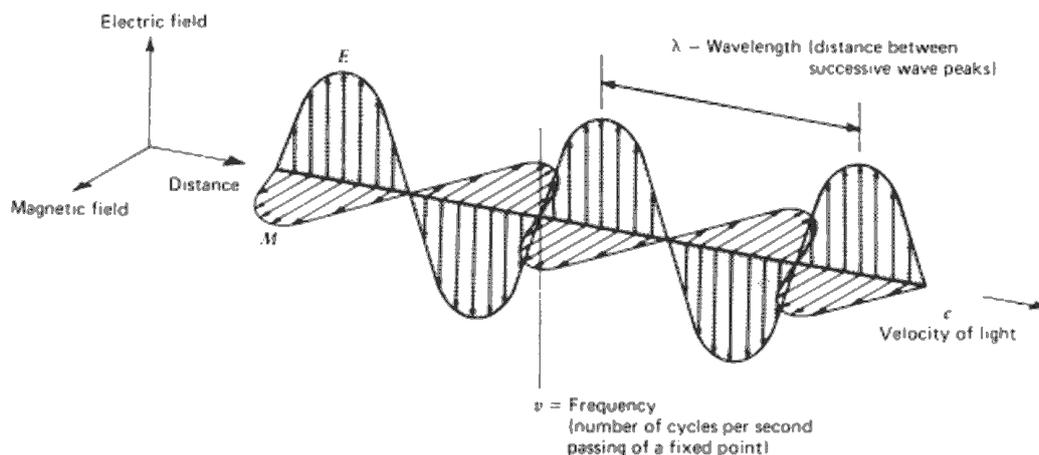
Ya que los rangos de sensibilidad de los sensores son muy pequeños en comparación con la información suministrada por el total del espectro electromagnético, el problema de identificar una determinada materia o sustancia a partir del conjunto de valores espectrales en los que es sensible un sensor se presenta como un problema en general difícil.

## **Fuentes de Energía.**

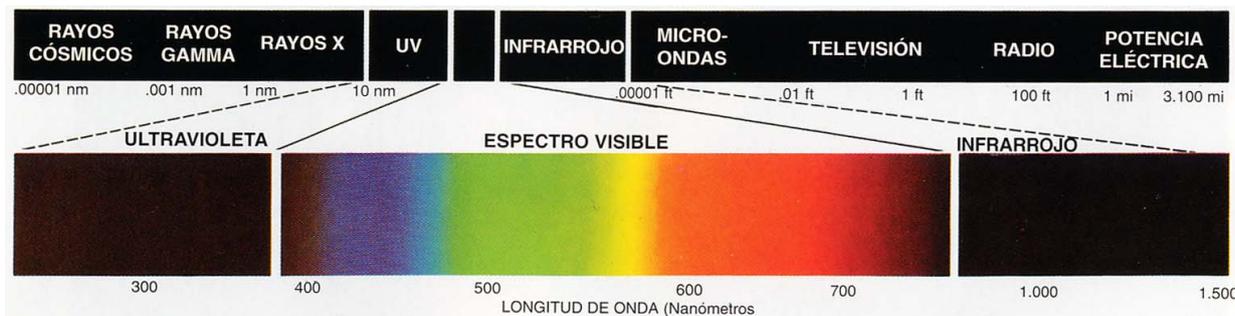
Como ya hemos dicho el espectro electromagnético debe entenderse como una función continua de la longitud de onda (o de la frecuencia) que en su totalidad caracteriza de forma absoluta una materia o sustancia. Para referirnos a determinadas regiones del espectro a veces se usan etiquetas lingüísticas tales como microondas, ultravioleta, infrarrojo, infrarrojo lejano, etc. Estas etiquetas no determinan por ellas mismas ningún valor concreto sino que fijan aproximadamente la región de valores a la que hacemos referencia.



La luz visible es solamente una de las muchas fuentes de energía electromagnética a partir de la cual podemos captar imágenes. Las ondas de radio, los rayos ultravioleta, los rayos infrarrojos, los rayos X, etc., son otras fuentes de energía para las cuales hoy en día ya existen sensores especializados para ellas. Aunque aparentemente distintas, todas estas energías se conducen de acuerdo con la teoría básica de las ondas, como se muestra en la figura:



Esta teoría describe la energía electromagnética como ondas sinusoidales que viajan a la velocidad de la luz:  $C = 3 \times 10^8$  m/s. La distancia entre dos picos consecutivos de dichas ondas que notaremos por  $\lambda$ , se denomina longitud de onda, y el número de picos que pasan por un punto del espacio en cada unidad de tiempo,  $\nu$ , se denomina frecuencia de la onda. La relación entre estos parámetros viene dada por la ecuación  $c = \lambda \cdot \nu$ . Es evidente pues, que frecuencia y longitud de onda son magnitudes inversamente proporcionales ya que  $c$  es esencialmente una constante.



Si representamos el espectro en función del logaritmo de la longitud de onda, podemos ver que la región asociada a la parte visible del espectro es una región muy pequeña de este, que va de  $0.4 \mu\text{m}$  a  $0.7 \mu\text{m}$ , donde  $\mu\text{m}$  (nanómetro) denota un micrómetro o  $10^{-6}$  metros. La región del azul se extiende de  $0.4 \mu\text{m}$  a  $0.5 \mu\text{m}$ , la del verde de  $0.5 \mu\text{m}$  a  $0.6 \mu\text{m}$  y la del rojo de  $0.6 \mu\text{m}$  a  $0.7 \mu\text{m}$ . Esto evidencia que la cantidad de información con que se cuenta para poder caracterizar una sustancia usando solamente su color es insuficiente y es por tanto necesario tener observaciones de la misma para otros valores de la longitud de onda.

En el caso de la caracterización de objetos a partir de imágenes, la determinación de la sustancia o materia de la que están hechos dichos objetos no es en general suficiente, siendo necesario en la gran mayoría de los casos apoyarse en factores geométricos de la forma del mismo. Por ello, será necesario desarrollar técnicas que nos permitan determinar las formas presentes en una imagen a partir de un número finito de parámetros de la misma. La cantidad de información tanto geométrica como del espectro que en cada caso será necesaria para obtener soluciones adecuadas dependerá del tipo de aplicación.

Históricamente el uso de estas dos fuentes de información, el espectro y la geometría, han sido usadas de forma independiente. Todos los estudios dedicados al tratamiento y análisis de imágenes de tipo visual han hecho especial énfasis en los aspectos geométricos de las formas encontradas en las escenas, y aquellos otros estudios relacionados con la determinación de recursos naturales a través de sensores remotos han hecho un especial énfasis en las propiedades espectrales de la escena. Si bien esta dicotomía en ambos casos ha venido impuesta por los objetivos de la aplicación, parece claro que el uso combinado de ambas fuentes de información debe ser un objetivo de las técnicas de análisis de imágenes.

### **Elementos de la percepción ocular.**

El ojo humano es receptivo a la radiación electromagnética que denominamos luz visible y que notaremos como distribución espectral por  $L(\lambda)$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda. Al intervalo de valores de  $\lambda$  que va de 350  $\mu\text{m}$  (nanómetros) a 780  $\mu\text{m}$  lo llamaremos luz visible. La distribución de la sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda tiene forma de campana con un valor máximo para los conos del ojo humano en torno a los 600  $\mu\text{m}$  y un máximo para los bastones en torno a los 500  $\mu\text{m}$ .

El ojo humano es capaz de adaptarse en un rango de valores de iluminación de aproximadamente 10 órdenes de magnitud, es decir un rango de valores que van de 1 -  $10^{10}$ . El punto más importante a la hora de interpretar este enorme rango es el hecho de que el ojo no opera de forma simultánea sobre todo el rango si no que en cada caso y en función de la luminosidad media existente se hace sensible a un rango alrededor de dicho valor medio. Dicho intervalo de sensibilidad esta definido de manera que el ojo considera como negro todos aquellos valores que están por debajo del limite inferior del intervalo. El limite superior no se satura como el inferior, pero si queremos que el ojo sea sensible a un determinado rango de luminosidad, habremos de impedir que el ojo reciba valores de intensidad luminosa muy superiores, ya que en ese caso trataría de adaptarse a los valores más intensos a costa de perder sensibilidad en los menos intensos. Este efecto de adaptación se denomina **adaptación al brillo**. Numerosos experimentos han mostrado que el brillo subjetivo percibido es una función logarítmica de la intensidad de luz incidente en el ojo.

## **PROCESOS DE FORMACION DE UNA IMAGEN DIGITAL**

### **Efectos del muestreo y la cuantización.**

Las dos principales causas que producen pérdida de información cuando capturamos una imagen son la naturaleza discreta de los píxeles de la imagen y el rango limitado de valores de intensidad luminosa que somos capaces de medir en cada píxel (cantidad y calidad).

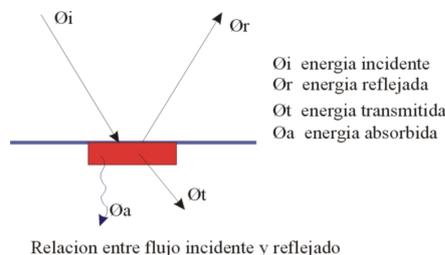
El muestreo de una imagen tiene el efecto de reducir la resolución espacial de la misma.

El efecto de cuantización viene dado por la imposibilidad de tener un rango infinito de valores de medida para la intensidad de brillo de los píxeles. La tecnología actual permite en casos extras llegar hasta 32 bits de información, aunque lo general es tener 8 BIT, o equivalentemente a 256 niveles de gris para codificar este valor lumínico.

No existen criterios que nos permitan decidir el número óptimo de píxeles y de bits con los que muestrear una determinada imagen. Distintos estudios experimentales, usando la opinión de personas, han llegado a la conclusión de que existen determinados valores de umbral por encima de los cuales no se aprecia una significativa ganancia pero por debajo de ellos sí se aprecia una pérdida efectiva en la imagen. En cualquier caso y dado el estado de desarrollo actual de los métodos automáticos de análisis e interpretación de imágenes la conclusión de obtener una imagen con la mayor resolución y calidad posible parece por ahora la única viable.

### Formación de la Imagen

Un objeto o escena se define como una entidad bidimensional (x, y) que emite o refleja energía radiante. Un flujo de radiación electromagnética de una fuente cualquiera (sol, lámpara, etc.), se propaga por el espacio hasta interactuar con superficies u objetos los cuales pueden REFLEJAR, ABSORBER o REEMITIR esta energía, dependiendo fuertemente ésta de las propiedades físico-químicas de los elementos irradiados. El flujo resultante va a constituir la fuente de información de estas superficies u objetos, por consiguiente la imagen es formada por la captura mediante sensores de ondas electromagnéticas reflejadas o reemitidas por los objetos.



**Sistema Sensor:** Posee un sistema óptico responsable de la formación de la imagen en un plano focal, donde un conjunto de detectores van a recibir una energía radiante focalizada por la lente transformándola en una señal eléctrica. Estos detectores miden la intensidad de luz incidente, dependiendo su respuesta de la cantidad y frecuencia de la luz, de ahí que se describan las características de un sensor a través de una curva de respuesta espectral, la que da la intensidad de respuesta para cada frecuencia.

La proyección geométrica de un detector, de una superficie de un objeto determinado, define un área o **píxel**, representada por un conjunto de pixels, siendo cada uno un elemento de unidad pictórica o *picture element*, el cual sería el equivalente al grano fotográfico. El ángulo definido por esta proyección es conocido como IFOV, siendo esta área la que define la resolución espacial del sistema. A mayor resolución, mayor nivel de detalles en la imagen.

En la salida del sensor tenemos una representación de la escena original, que es una **Imagen**. Esta, que es el resultado de la transformación de un objeto por el sensor, puede ser representada por una función real de dos variables, X e Y:

$$G_i(x, y) = L(x, y, \Delta, \lambda_j, t_m)$$

$G_i$  : imagen

$L$  : valor de radiancia espectral del objeto observado por el sensor en una

$X, Y$  : posición en un

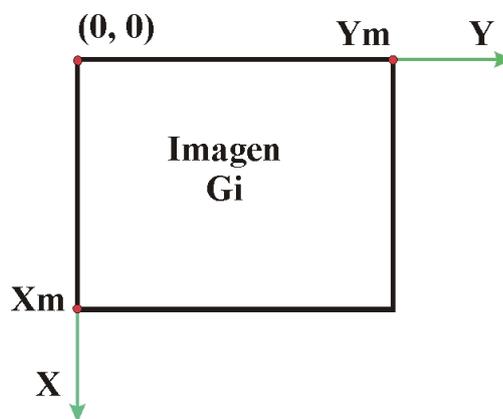
$t_m$  : intervalo de tiempo para

$\Delta\lambda_j$  : una dada región o banda del espectro electromagnético, conocido como Banda Espectral.

Las funciones imagen son definidas sobre una región rectangular

$$R = \{ (x, y) / 0 \leq x \leq x_m, 0 \leq y \leq y_m \}$$

Con valores reales, no negativos y limitados



### Digitalización

Una imagen  $g(x, y)$ , en principio, es continua tanto en la variación espacial (coordenadas  $x, y$ ) como en las amplitudes (resolución en niveles de gris o Bits).

Para que una imagen sea representada en un computador, es necesario que sea digitalizada, tanto en el dominio espacial  $(x, y)$  como en el de las amplitudes.

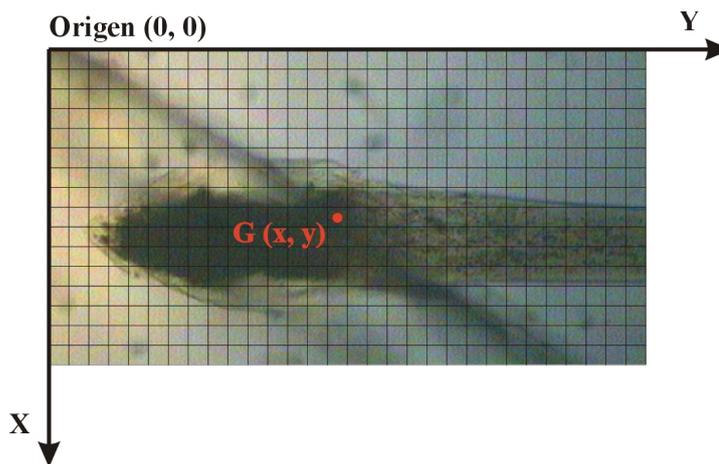
Supongamos una imagen continua,  $g(x, y)$ , representada en forma de una matriz  $N \times N$  :

$$\begin{array}{cccccc}
 G(0,0) & g(0,1) & g(0,2) & \dots & g(0,N-1) \\
 G(1,0) & g(1,1) & g(1,2) & \dots & g(1,N-1) \\
 G(x,y) & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 g(N-1,0) & g(N-1,1) & g(N-1,2) & \dots & g(N-1,N-1)
 \end{array}$$

donde : cada elemento de matriz es un valor entero,  $g(i, j) = g(i\Delta x, j\Delta y)$ , como  $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$  y  $\Delta x$  y  $\Delta y$  son los intervalos de muestreo en las direcciones  $x$  e  $y$  respectivamente.

Esta ecuación representa una imagen digital. Cada elemento de la matriz es conocido como un elemento de imagen ó PIXEL. El valor de cada elemento, denotado por un nivel de gris, debe estar dentro de un intervalo finito,  $(0, K-1)$ , donde  $K$  es el número de valores posibles de niveles de cuantización. Los procesos de muestreo en las coordenadas espaciales  $x$  e  $y$  en una grilla de puntos  $N \times N$  y de cuantización de los niveles de gris continuos en  $K$  valores son conocidos como **Muestreo** y **Cuantización** respectivamente. Cuanto más fina la grilla de muestreo, ( $N$  más grande), y la cuantización, ( $K$  mayor), mejor será la aproximación de la imagen original.

Ejemplo de una imagen digital:



Cada “cuadrado” de la imagen representa un píxel (escala **muy** exagerada), con valores tanto espaciales  $(x, y)$  como espectrales.

A modo de comparación, ejemplo de película fotográfica convencional:



ESTRUCTURA DE UNA PELICULA MODERNA EN BLANCO Y NEGRO

## METODOS DE ANÁLISIS

Actualmente podemos dividir los métodos de análisis de datos de Sensores Digitales en dos grandes grupos:

### **ANALISIS VISUAL - ANALISIS DIGITAL**

Podemos decir, que a pesar que la técnica de análisis visual es anterior a la de análisis digital, actualmente es necesario primero un análisis digital, ya que ciertos tratamientos mejoran la calidad de la imagen, facilitando por ende su análisis visual.

Entonces, podemos definir al Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes como:

TECNICA QUE NOS PERMITE EL ANALISIS Y MANIPULACION DE IMÁGENES POR UN COMPUTADOR

cuya finalidad es:

- 1.- EXTRAER INFORMACION DE IMÁGENES**
- 2.- TRANSFORMAR LA IMAGEN DE MODO QUE LA INFORMACION SEA MAS FACILMENTE DICERNIBLE POR EL OJO HUMANO.**

### Tipos de Imágenes

Dentro del dominio espacial tenemos dos grandes grupos: Las Imágenes Escala de Gris y las Imágenes Color. Ciertos programas nos permiten obtener una “Imagen” de su espectro, aplicando Transformada de Fourier: tendríamos una imagen dentro del dominio de las frecuencias

#### **Escala de Grises:**

Bilevel

Nivel de Gris 8

Nivel de Gris 12

Nivel de Gris 16

Coma Flotante (Nivel de Gris 32)

#### **Color:**

RGB 24 (Color Real)

RGB 36

RGB 48

HSV

HSI

CMY

YIQ

Paleta

#### **Escala de Grises:**

**Bilevel:** Una imagen *Bilevel* (*Dos niveles*) almacena los datos de la imagen en 1 bit-por-píxel (1 BPP). Cada píxel se interpreta como completamente negro (0) o completamente blanco (1). Las

imágenes *Bilevel* se denominan normalmente imágenes en “Blanco y Negro”, o “Line Art” o “Halftones.”

**Escala de Gris:** Los valores de píxel en *Escala de Gris* representan un nivel de brillo, con un rango desde el blanco al negro. Algunas veces a esta clase se le denomina “monocromo”.

En una imagen de Escala de Gris de 8-bit, un píxel con un valor de 0 es completamente negro, y un píxel con valor 255 es completamente blanco. Un valor de 127 representa un nivel de gris intermedio entre el blanco y el negro, y un valor de píxel de 64 tiene un valor de gris intermedio entre el anterior y el negro.

También existen imágenes de Escala de Gris con profundidades de 2, 4, 6, 12, 16 y 32, las imágenes de Escala de Gris de 8 BPP son las más comunes. Esto se debe a dos razones: 1) es 1-byte-por-píxel, y este tamaño es muy fácil de manipular por un ordenador, y 2) puede representar cualquier escala de gris de la imagen porque proporciona 256 niveles de gris distintos (el ojo humano distingue menos de 30 niveles de gris).

### **Modelos de escala de grises:**

**( No todos los programas soportan todos estos modos)**

**Escala de gris 8 bpp:** Es el formato de escala de gris más utilizado por los más populares formatos monocromos (TIFF, PCX, GIF). Los valores de intensidad se representan con enteros de 8 bits. Proporciona 256 (0-255) niveles de gris.

**Escala de gris 12 bpp:** Formato de escala de gris generado por sistemas de imagen especializados. Los valores de intensidad son representados por enteros de 12 bits. Proporciona 4096 (0-4095) niveles de gris.

**Escala de gris 16 bpp:** Formato de escala de gris generado por sistemas de imagen especializados. Los valores de intensidad son representados por enteros de 16 bits. Proporciona 65.536 (0-65.535) niveles de gris.

**Punto flotante 32 bpp:** Formato de escala de gris no nativo de ningún sistema o formato de imagen. Muy útil para ciertas operaciones aritméticas y de filtrado. Los valores de intensidad se representan por valores en punto flotante de 32 bit. Proporcionan un número ilimitado de niveles de gris.

Las clases Escala de Gris 12, Escala de Gris 16, y Punto Flotante se utilizan para operaciones y aplicaciones especiales. Las imágenes Escala de Gris 12 y Escala de Gris 16 a menudo han sido generadas por equipos de imagen especializados, como cámaras infrarrojas y sistemas de imagen médica.

Las imágenes en Punto Flotante no es nativa de ninguna aplicación o equipo. Contrariamente a las demás clases de imagen, las imágenes en Punto Flotante no tiene un rango de intensidades fijo. El valor más bajo en la imagen se muestra en negro, y el valor más alto en blanco.

La ventaja de una imagen en Punto Flotante es que los datos no tienen pérdidas por truncado cuando se realiza una operación aritmética o de filtrado (“el truncado” se refiere a la pérdida de datos que ocurre cuando un valor de píxel se sale de la escala de intensidad de la clase. Un ejemplo es un valor negativo que se genera durante una operación de filtrado o substracción ( en una imagen con valores enteros el valor se igualaría a 0). Esta característica la hace especialmente valiosa para las aplicaciones de restauración de imagen.

## Color:

El empleo del color en el procesamiento de imágenes está motivado por dos factores principales. Primero, en el análisis automático de imágenes, el color representa un potente descriptor que a menudo simplifica la identificación de un objeto y su extracción de una escena. Segundo, en el análisis de imágenes realizado por seres humanos, el interés por el color reside en que nuestro ojo es capaz de discernir miles de matices e intensidades de color, en comparación con sólo dos docenas de niveles de gris.

El procesamiento de imágenes en color se divide en dos áreas fundamentales: el procesamiento en color real o todo color y en falso color. En la primera categoría, las imágenes en cuestión se adquieren mediante un sensor de color, como una cámara digital o un escáner. En la segunda categoría, el problema consiste en asignar un nivel de color a una determinada intensidad o rango de intensidades monocromáticas.

Aunque el proceso seguido por el cerebro humano para percibir el color es un fenómeno psicofisiológico que todavía no se ha llegado a entender, la naturaleza física del color se puede expresar en una base formal corroborada por los resultados experimentales y teóricos.

Básicamente, los colores que los seres humanos percibimos en un objeto están determinados por la naturaleza de la luz reflejada por el objeto. La luz visible está formada por una banda de frecuencias relativamente estrecha del espectro electromagnético. Un cuerpo que refleje luz que esté relativamente equilibrada en todas las longitudes de onda aparece como blanco para el observador. Sin embargo, un cuerpo que tiene una mayor reflectancia en una determinada banda del espectro visible aparece como coloreado. Por ejemplo, los objetos de color verde reflejan la luz con longitudes de onda esencialmente en la banda entre 500 y 570 nanómetros, mientras que absorben casi toda la energía en las restantes longitudes de onda.

La caracterización de la luz es un aspecto central de la ciencia del color. Si la luz es acromática (sin color), su único atributo es la *intensidad*, o cantidad de luz. Luz acromática es la que emite un televisor en blanco y negro, y ha sido una componente implícita de la anterior presentación sobre el procesamiento de imágenes.

La luz visible abarca la región del espectro electromagnético comprendida entre los 400 y los 700 nm, aproximadamente. Para describir las características de una fuente cromática de luz se emplean tres magnitudes básicas: la **radiancia**, la **luminancia** y el **brillo**. La **radiancia** es la cantidad total de energía que sale de la fuente luminosa, y habitualmente se mide en watios (**W**). La **luminancia**, describir las sensaciones del color medida en lúmenes (**lm**), proporciona una medida de la cantidad de energía que un observador percibe procedente de una fuente luminosa. Por ejemplo, la luz emitida por una fuente que radie en la región infrarroja del espectro puede tener una elevada energía (radiancia), pero un observador difícilmente la percibirá; por ello su luminancia sería casi nula. Finalmente, el **brillo** es un descriptor subjetivo que resulta muy difícil de medir. Incluye la noción acromática de la intensidad y es uno de los factores fundamentales para describir las sensaciones del color.

Debido a la estructura del ojo humano, todos los colores se ven como combinaciones variables de los denominados tres *colores primarios*, rojo (al que indicaremos por la inicial R, del inglés *red*), verde (G, del inglés *green*) y azul (B, del inglés *blue*). Con el fin de llegar a una normalización la CIE (síglas francesas de la Comisión Internacional de Iluminación) designó en 1931 los siguientes valores específicos de la longitud de onda de los tres colores primarios: azul: 435,8µm, verde: 546,1µm y rojo: 700µm. Sin embargo puede observarse que no hay un único color que pueda llamarse rojo, verde o azul. Así, el determinar tres longitudes de onda específicas con el fin de la estandarización no significa que estas tres componentes RGB fijas puedan generar ellas solas todos los colores del espectro.



Es importante la distinción entre colores primarios de luz y colores primarios de pigmentos o colorantes. Para estos últimos, un color primario se define como algo que absorbe o sustrae un color primario de luz y refleja o transmite los otros dos. Por lo tanto, los colores primarios de pigmentos son magenta, cyan y amarillo, y los colores secundarios son rojo, verde y azul.

Las características generalmente empleadas para distinguir un color de otro son brillo, tono y saturación. Como se indicó anteriormente, el brillo está relacionado con la noción cromática de intensidad. El tono es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas. Así el tono representa el color dominante tal como lo percibe un observador; cuando decimos que un objeto es rojo, naranja o amarillo estamos especificando su tono. La saturación se refiere a 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) están menos saturados, siendo su grado de saturación inversamente proporcional a la cantidad de luz blanca añadida.

Tono y saturación considerados conjuntamente constituyen la cromaticidad y, por tanto, un color se puede caracterizar por su brillo y su cromaticidad.

## Modelos de color

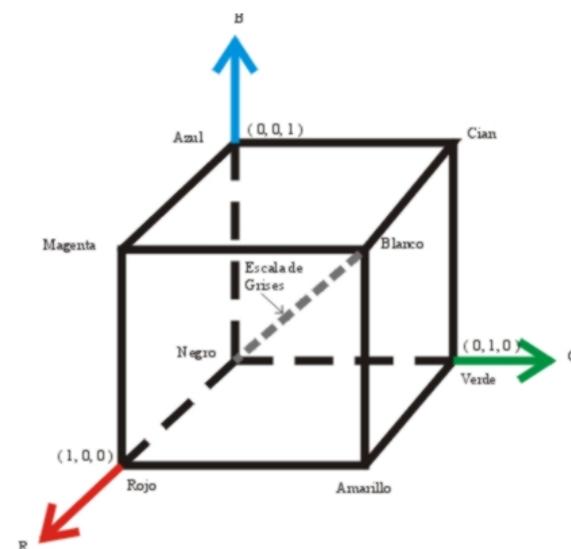
El objetivo de un modelo de color es el facilitar la especificación de los colores de una forma normalizada y aceptada genéricamente. En esencia, un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional y de un sub-espacio de este sistema en el que cada color quede representado por un único punto.

La mayoría de los modelos de color empleados en la actualidad están orientados bien hacia el hardware (como para monitores en color e impresoras) o bien hacia aplicaciones donde se pretende manipular el color (como en la creación de gráficos en color para animación). Los modelos orientados hacia el hardware utilizados habitualmente en la práctica son el **RGB** (iniciales de *red* -rojo-, *green* -verde- y *blue* -azul-) para monitores en color y una amplia categoría de cámaras de vídeo de color; el **CMY** (de *cyan* -cián-, *magenta* -magenta- y *yellow* -amarillo-) para impresoras en color y el **YIQ** que es el estándar de las emisiones de televisión en color. En este tercer modelo, la Y corresponde a la luminancia, y la I y la Q son dos componentes cromáticas denominadas *fase* y *cuadratura*, respectivamente. Entre los modelos que se utilizan frecuentemente en la manipulación de imágenes en color encontramos el **HSI** (iniciales de *hue* -tono-, *saturation* -saturación- e *intensity* -intensidad-) y el **HSV** (de hue -tono-, saturation -saturación- y value -valor-).

Los modelos de color utilizados más frecuentemente para el procesado de imágenes son los **RGB**, **YIQ** y **HSV**. Aunque el modelo CMY se emplea para la impresión, en lugar de para el procesado, también se considerará debido a su importancia en la obtención de copias en papel de los resultados.

## El modelo de color RGB

En el modelo RGB, cada color aparece con sus componentes espectrales primarias de rojo, verde y azul. Este modelo está basado en un sistema de coordenadas cartesianas. El subespacio de color de interés es el cubo mostrado en la figura:



Cubo de valores RGB. Los puntos sobre la diagonal principal corresponden a valores de gris, desde el negro, en el origen, hasta el blanco, en el punto (1, 1, 1)

en la que los valores RGB están en tres vértices; el cian, magenta y amarillo en otros tres vértices; el negro, en el origen; y el blanco, en el vértice opuesto al origen. En este modelo la escala de grises se extiende del negro al blanco a lo largo de una diagonal del cubo, y los colores son puntos del cubo o de su interior, definidos por vectores que se extienden desde el origen. Por conveniencia, se supone que todos los valores de color han sido normalizados, de forma que el cubo de la figura es el cubo unidad. Es decir, todos los valores de R, G y B se supone que están en el intervalo (0,1).

En el modelo RGB, un color se expresa en términos que definen las cantidades de Rojo, Verde y Azul que contiene. En una imagen color de 24 bit, el rojo puro quedaría representado por 255/000/000, donde 255 representa el máximo nivel de rojo, acompañado por nada de verde (000) y nada de azul (000). Varias combinaciones de los valores de Rojo, Verde y Azul, nos permite definir 224 (más de 16 millones) de colores.

Las imágenes del modelo de color RGB consisten en tres planos de imagen independientes, uno por cada color primario. Cuando llegan a un monitor RGB, estas tres imágenes se combinan en la pantalla fosforescente para producir una imagen en color compuesta. Así, el empleo del modelo RGB para el procesamiento de imágenes adquiere sentido cuando las propias imágenes están expresadas de forma natural en términos de tres planos de color. De forma alternativa, la mayoría de las cámaras de color empleadas para la adquisición de imágenes digitales utilizan el formato RGB, lo que por sí sólo hace de éste un modelo importante en el procesamiento de imágenes.

RGB 24 se denomina también Color Real: En un bitmap de Color Real, cada pixel contiene un valor de 24 bit, denominado triplete RGB. Este triplete RGB se compone de tres muestras separadas de 8 bits. Cada muestra representa el nivel o brillo de su respectivo canal de color: Rojo, Verde, o Azul. Estos valores de brillo representan valores en una escala de 256 tonos, de la misma forma que se hace en las imágenes de Escala de Gris.

La primera muestra es un nivel de Rojo, que va de 0 (negro) a 255(rojo brillante). La segunda muestra se interpreta como nivel de verde, y la tercera muestra es el nivel de azul. Niveles iguales de Rojo, Verde y Azul generan siempre un nivel de gris

### **El modelo de color CMY / CMYK**

Cyán, magenta y amarillo son los colores secundarios de luz, o bien los colores primarios de los pigmentos. Por ejemplo, cuando una superficie recubierta de un pigmento cian se ilumina con luz blanca, no se refleja luz roja de ella. Es decir, el cian absorbe la luz roja presente en la luz blanca -recuérdese que la luz blanca está compuesta de luz roja, verde y azul, a partes iguales.

La mayoría de los dispositivos que depositan pigmentos coloreados sobre papel, tales como impresoras y fotocopiadoras en color, necesitan una entrada CMY o bien una conversión interna de RGB a CMY.

El modo CMY asigna a cada píxel un valor porcentual para cada una de las tintas de cuatricromía. Los colores más claros (iluminados) tienen un porcentaje pequeño de cuatricromía, mientras que los más oscuros (sombra) tienen porcentajes mayores. Por ejemplo, un rojo brillante podría tener un porcentaje del 2 por ciento de cian, 93 por ciento de magenta, 90 por ciento de amarillo y 0 por ciento de negro. En las imágenes CMY, el blanco puro se crea cuando los cuatro componentes tienen un valor del 0 por ciento.

CMY es el modo que se usa cuando se prepara una imagen para imprimirla utilizando cuatricromías. Al convertir una imagen RGB a CMY se crea una separación de color. Si la imagen era originalmente RGB lo mejor es modificarla antes de convertirla a CMY. También puede usar el modo CMY para trabajar directamente con imágenes CMYK escaneadas o importadas de sistemas de alto rendimiento.

En teoría, los pigmentos del cian ( C ), del magenta (M), y del amarillo (A) puros se combinan para absorber todos los colores y generar negro. Este es el motivo por el que se denominan colores sustractivos. Debido a que todas las tintas de impresión contienen impurezas, su combinación en realidad produce un marrón sucio, por lo que es necesario combinarlas con tinta negra (K) para generar negro puro.

Los colores sustractivos (CMY) y aditivos (RGB) son los colores complementarios. Cada par de colores sustractivos crea un color aditivo.

### **El modelo de color YIQ**

El modelo YIQ se utiliza en las emisiones comerciales de televisión comerciales (broadcasting). Se ha diseñado para aprovechar la característica del ojo humano que es más sensible a los cambios en la iluminación, más que en el cambio en el color y la saturación. YIQ da más bits al canal Y (luminancia) que a los canales I y Q (tono y saturación). Básicamente el YIQ es una recodificación del RGB utilizada por su eficacia en la transmisión y para mantener la compatibilidad con los estándares de televisión en blanco y negro. De hecho, la componente Y del sistema YIQ proporciona toda la información de vídeo que necesita un sistema de televisión monocromática.

Además de tratarse de un estándar ampliamente difundido, la ventaja principal del modelo YIQ en el procesamiento de imágenes es que la luminancia (Y) y la información del color (I y Q) están desacopladas. Recuérdese que la luminancia es proporcional a la cantidad de luz percibida por el ojo. Así, la importancia de este desacoplamiento radica en que la componente de la luminancia de una imagen puede procesarse sin afectar a su contenido cromático.

### **El modelo de color HSI**

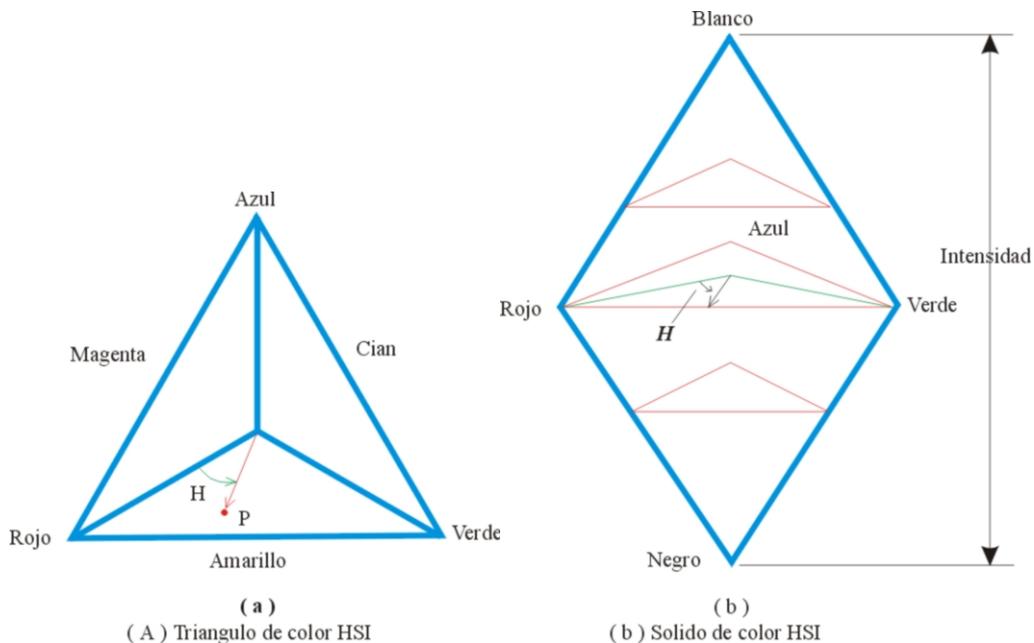
Recordemos que el tono es un atributo cromático que describe un color puro (amarillo puro, naranja puro, rojo puro), mientras que la saturación proporciona una medida del grado en que un color puro está diluido en luz blanca. El modelo HSI debe su utilidad a dos hechos básicos. Primero, la componente de la intensidad, I, está desacoplada de la información cromática contenida en la imagen. Segundo, las componentes de tono y saturación están íntimamente relacionadas con la forma en que los seres humanos percibimos el color. Estas características hacen que el modelo HSI sea una herramienta ideal para desarrollar algoritmos de procesamiento de imágenes basados en alguna de las propiedades de la percepción del color del sistema visual humano.

Los ejemplos sobre la utilidad del modelo HSI van desde el diseño de sistemas automáticos para determinar el grado de maduración de frutas y otros vegetales, hasta sistemas para comparar muestras de color o inspeccionar la calidad de productos coloreados. En estas aplicaciones, y en otras similares, la clave consiste en que la operación del sistema se fundamenta en las propiedades del color de forma que una persona pueda utilizarlas para realizar la labor en cuestión.

El modelo de color **HSI** (Hue, Saturation, Intensity) describe un color en términos de cómo se percibe por el ojo humano. “Hue” (Tono) es lo que un artista definiría como “pigmento”; es en lo que nosotros pensamos como “color” - amarillo, naranja, cian y magenta son ejemplos de diferentes tonos. Un artista normalmente empieza con un pigmento altamente saturado (Ej. Puro), e intenso (Ej. Brillante), y después reduce su saturación añadiendo algo de blanco, y añade algo de negro para reducir su intensidad. El Rojo y el Rosa son dos diferentes saturaciones del mismo color, el Rojo.

En el modelo HSI, el tono (hue) viene especificado por su posición en un “hexágono de color” medido por sus distancias, en grados, desde el eje rojo (Ej. Un valor de Hue de 120 indicará Verde,

ya que esta a 120' del Rojo). Los componentes de color Saturación e Intensidad se identifican utilizando coordenadas adicionales en un espacio 3D.



### El modelo de color HSV:

Es muy similar al modelo HSI. La mayor diferencia entre ambos es la forma de calculo utilizado para producir el valor del brillo. En HSI, un brillo de píxel se deriva de la media de los valores de los tres colores (R, G, y B). En el modelo HSV, un brillo de píxel se determina a través del promedio entre el valor máximo y mínimo de los valores de los tres colores.

### El modelo Paleta:

La clase de imagen Palette (Paleta) utiliza 8 bits-por píxel para almacenar información de color. El formato Paleta es una forma eficiente de almacenar imágenes que tienen menos de 256 colores. Requiere menos espacio de almacenamiento que los formatos codificados y de Color Real (Tripletes RGB).

Contrariamente al resto de clases de imagen, el valor de píxel en la imagen Paleta no representa un valor de brillo, sino, que el valor del píxel es un índice (puntero) a una dirección de la paleta de la imagen. La paleta, donde se almacena la imagen, es una tabla que contiene 256 valores RGB. Cada valor de la tabla contiene valores RGB de 24 bit para ese índice en particular. En una imagen Paleta, puede cambiar los colores de todos los píxeles con un cierto valor.

Es importante entender que los valores en una imagen Paleta no tienen ningún significado en términos de intensidad; Ej. No se puede asumir que un píxel con valor 0 signifique negro, o un valor con valor de 255 signifique blanco, o que valores bajos son oscuros y valores altos son claros. Por ello, las imágenes Paleta no pueden utilizarse para cálculos de intensidad, tales como filtros u

operaciones de análisis de intensidad como histogramas y análisis de líneas. Si desea realizar este tipo de operaciones en una imagen Paleta, debe primero, convertirla en una imagen de tono continuo como por ejemplo: Real Color o Escala de Gris.

## **TECNICAS ELEMENTALES DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES**

A menudo, una imagen requiere algún tipo de mejora para realzar su apariencia por razones estéticas, o para aumentar las posibilidades de extraer datos de ella. Las técnicas de mejora van desde simples operaciones como el ajuste del brillo y el contraste, a operaciones más sofisticadas y complejos filtros espaciales y morfológicos diseñados para extraer mejor la información de dichas imágenes.

La interpretación de imágenes es muchas veces dificultada por degradaciones incorporadas en los procesos de toma de imagen y visualización. Las técnicas de realce buscan mejorar la calidad visual de las imágenes y enfatizar alguna característica de interés para una aplicación específica. Estas técnicas, en su mayoría son heurísticas y orientadas a problemas específicos.

Hay tres formas básicas de mejorar una imagen:

- A.- Modificación del índice de intensidad.**
- B.- Aplicación de filtros espaciales.**
- C.- Manipulación de las frecuencias de la imagen.**

Dependiendo de su aplicación, puede utilizar ciertas técnicas y no otras, o puede combinar varias técnicas para alcanzar el resultado requerido. Todo esto dependerá de la calidad y tipo de programas utilizados, como también la capacidad del ordenador utilizado.

A continuación se describen técnicas básicas de procesamiento digital, asumiendo el uso de ordenadores y programas de óptima calidad.

### **A.- Modificando el Índice de Intensidad**

Una forma de mejorar una imagen es cambiando la forma en que se interpretan sus valores de intensidad. Por ejemplo, si su imagen es muy oscura, se pueden aumentar todos sus valores en una cantidad determinada. Se pueden aumentar todos los valores en 20 puntos, o dar a un rango de intensidades un valor determinado (Ej. dar el valor 127 a todas las intensidades entre 75 y 150).

### **Herramientas de manipulación de la intensidad:**

#### **Brightness (Brillo):**

Brillo es un término utilizado para describir la cantidad total de luz en una imagen. En una imagen en color, la herramienta de Brillo ajusta la luminancia, que es la combinación de la intensidad de los canales RGB. Se puede modificar el brillo de cada uno de los colores de forma individual según el programa utilizado.

Cuando se incrementa el brillo, se incrementa el valor de cada uno de los píxeles de la imagen, desplazándolos a valores cercanos a 255, o blanco. Cuando se reduce el brillo, se reduce el valor de cada píxel, desplazando los valores cercanos a 0, o negro.

### **Contrast (Contraste):**

Contraste es un término utilizado para denotar el grado de diferencia entre los componentes de claridad y oscuridad de una imagen. Una imagen tiene un contraste pobre cuando sólo tiene transiciones muy suaves entre el blanco y el negro, o cuando los valores de sus pixels están en un rango muy reducido (una imagen que tenga todos sus valores entre 100 y 140 tendrá un contraste pobre). Una imagen tiene buen contraste si está compuesta por un rango amplio de valores de brillo entre el blanco y el negro. La escala de intensidad utilizada para una imagen se denomina “rango dinámico.” Una imagen con buen contraste tiene también buen rango dinámico.

Durante una operación de contraste, cada valor de píxel se escala a un valor de contraste, que sirve para redistribuir las intensidades sobre un rango más o menos extenso. Incrementando el contraste se distribuyen los valores de los pixels en un rango amplio, mientras que cuando se reduce el contraste se comprimen los valores en un rango más reducido.

### **Gamma Correction (Corrección de Gamma):**

La corrección de Gamma es una forma especializada de mejora de contraste que está diseñada para mejorar el contraste en áreas de una imagen muy oscuras o muy claras. La corrección funciona cambiando los valores de los tonos medios, específicamente los del final, sin que varíen los valores más claros (255) o las sombras (0). La corrección de Gamma se puede utilizar para mejorar la apariencia de la imagen, o para compensar las diferencias debidas a la captura o a la presentación de la imagen de los distintos dispositivos.

El control de Gamma modifica una imagen, aplicando curvas no lineares estándares de gamma a la escala de intensidad. Un valor de gamma de 1 es equivalente a la curva identidad (curva real), que no tiene ningún efecto sobre la imagen. Un incremento en el valor de gamma (seleccionando un valor superior a 1) hará que la imagen aparezca más clara e incrementará el contraste en las áreas oscuras. Un decremento en el valor de gamma (seleccionado un valor inferior a 1) hará que la imagen sea más oscura y aumentará el contraste de las zonas claras.

### **Thresholding (Segmentación):**

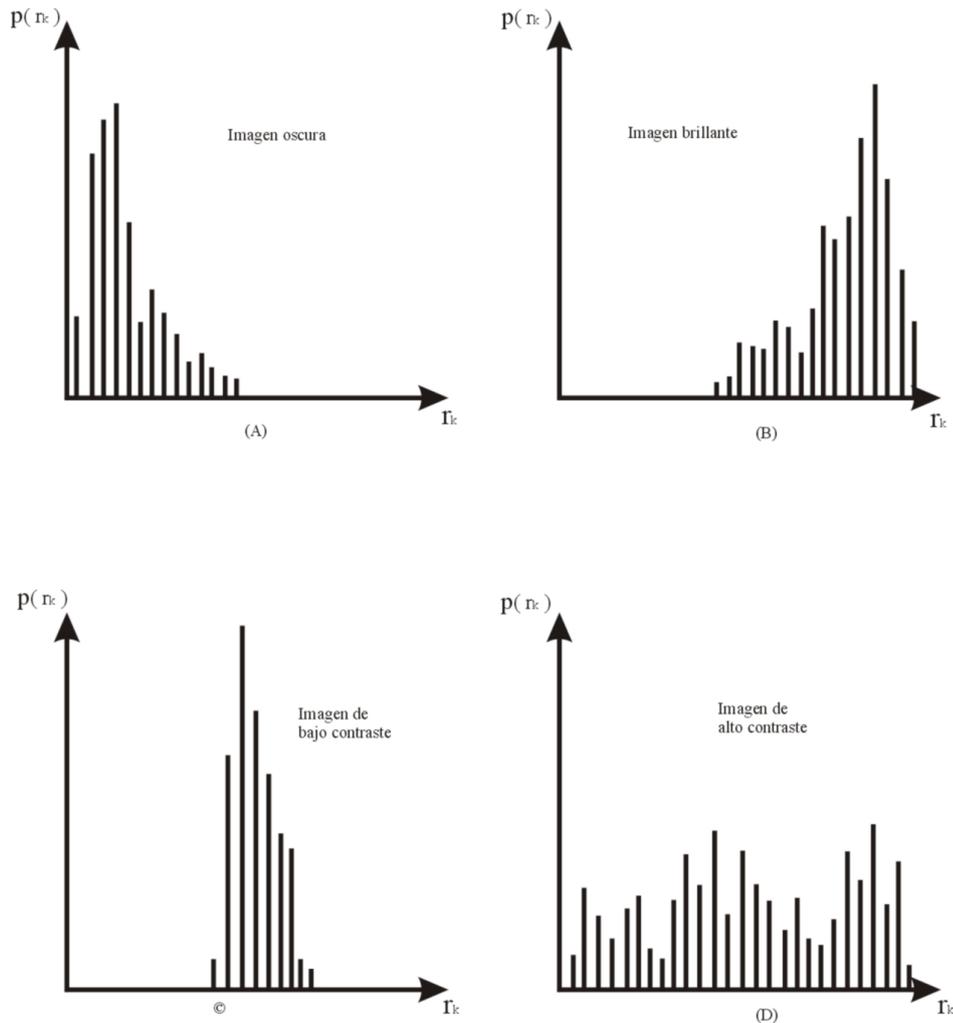
Esta función, también denominada Umbralización, permite reducir la imagen a sólo dos tonos: blanco y negro. Esto se realiza especificando el rango de intensidades que se quiere enfatizar (convertir a blancos), y dándole al resto de valores el valor 0 o negro. La Segmentación se utiliza normalmente para extraer las partes que se desean medir de la imagen, o para reducir una imagen a dos niveles (binarizar) para ejecutar sobre ella un proceso de morfología matemática como el “watershed” o un filtro de adelgazamiento (thinning).

### **Histograms (Histogramas):**

Los Histogramas miden e ilustran en forma gráfica, las características del brillo y contraste de la imagen. Los datos del histograma se pueden crear y visualizar para su posterior análisis o pueden manipularse para mejorar la imagen.

Un histograma le mostrará que tipo de deficiencias en brillo / contraste tiene su imagen. Imágenes con un bajo contraste tendrán histogramas que se concentrarán en una porción estrecha del rango de color. La posición de la concentración indicará si la imagen es demasiado oscura, clara o simplemente demasiado gris.

Ajustes en el Brillo, Contraste y Gama de la imagen modifican la forma del histograma.



HISTOGRAMAS CORRESPONDIENTES A CUATRO TIPOS BASICOS DE IMAGENES

### 1.- Ecuación de Histograma

Existen muchas formas de redistribuir un histograma, pudiéndose optimizar las características de brillo y contraste a fin de obtener la mejor distribución para obtener el contraste óptimo para cada imagen.

Las funciones más comunes son, acorde al programa que use:

**a.- Linear (Lineal):** Distribuye el histograma de forma constante a lo largo de su escala de intensidades. Esta función produce una imagen con alto contraste con el rango dinámico más alto posible.

**b.- Bell (Campana):** Distribuye el histograma alrededor del centro de la escala de intensidades. Esta función produce una imagen con alto contraste pero con menor rango dinámico que en el caso de la distribución "Linear"

**c.- Logarithmic (Logarítmica):** Concentra el histograma en la zona baja de la escala. Esta función produce alto contraste en la imagen, pero con bajo rango dinámico. Tiende a oscurecer la imagen, siendo de utilidad para aumentar el contraste en imágenes muy claras.

**d.- Exponential (Exponencial):** Concentra el histograma en la zona alta de la escala. Esta función produce un alto contraste en la imagen, pero con bajo rango dinámico. Tiende a aclarar la imagen. Es útil para aumentar el contraste en imágenes muy oscuras.

## B.- Aplicación de Filtros Espaciales:

Las operaciones de filtrado reducen o incrementan los cambios que se producen en las transiciones de intensidad de las imágenes. Áreas donde hay transiciones rápidas de la intensidad aparecen como bordes bien delimitados en la imagen. Áreas donde se producen cambios graduales producen límites más suaves. Los filtros se utilizan para detectar y modificar estos límites. Pueden incrementar la intensidad de la diferencia en un límite suave para que aparezca más diferenciado, o reducir la diferencia de intensidad en un límite bien definido para suavizarlo.

Las operaciones de filtrado producen su efecto modificando los valores de los píxeles basándose en los valores de los píxeles que están a su alrededor. Por ejemplo, desenfocar se hace realizando el promedio de todos los valores de los píxeles en una región determinada, y reemplazando el valor del píxel central por el valor del promedio. Esto produce reducciones de las variaciones entre píxeles vecinos, que visualmente suavizan la imagen. Un límite concreto entre blanco y negro se suaviza y como resultado aparece una graduación de niveles de gris.

Las técnicas de filtrado se dividen en dos categorías: **filtros convolutivos** (filtros lineales) y **filtros no convolutivos** (no lineales). Ambas técnicas obtienen sus resultados examinando y procesando la imagen en regiones pequeñas, denominadas píxeles “vecinos”. Una vecindad es una región cuadrada de píxeles de la imagen, normalmente de un tamaño de 3x3, 5x5, o 7x7.

### 1.- Convolutivos / Filtros de Mejora

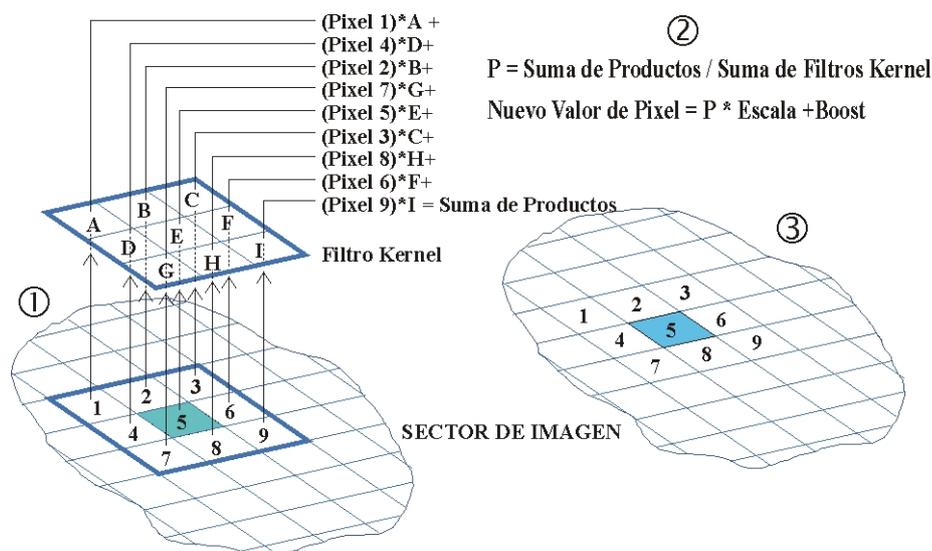
Filtros de Mejora o convolución procesan los vecinos de una imagen multiplicando los valores de estos vecinos por una matriz de coeficientes de filtrado (valores enteros). Esta matriz se denomina “kernel” (núcleo). Es del mismo tamaño que el área de vecinos sobre la que se aplica. El resultado de esta multiplicación se suma y divide por la suma del kernel del filtro. El resultado reemplaza el píxel central en la imagen de vecinos.

Este proceso se ilustra y describe a continuación:

**Paso 1:** Los píxeles vecinos de cada píxel de la imagen es multiplicado por el contenido de su elemento correspondiente en el kernel del filtro.

**Paso 2:** El resultado de la multiplicación se suma y se divide por la suma del kernel.

**Paso 3:** El resultado se escala, y se reemplaza por el píxel central de la imagen de vecinos.



**a.- Lo-Pass (Paso Bajo):** El filtro desenfoca una imagen modificando el valor de los píxeles para que sean más parecidos a los vecinos. Esto elimina límites abruptos reduciendo las diferencias de intensidad entre píxeles adyacentes. El Filtro de Paso Bajo puede utilizarse para desenfocar una imagen por razones estéticas, para eliminar detalles para preparar la segmentación de objetos, o para eliminar ruido aleatorio de la imagen.

**b.- HI-Pass (Paso Alto):** Este filtro acentúa los cambios de intensidad modificando el valor de los píxeles para exagerar las diferencias de intensidad con relación a sus vecinos. Este filtro produce una imagen con fuertes transiciones de intensidad, y generalmente el resultado es que sólo se vean los límites entre objetos contrastados. Los detalles finos con bajo contraste normalmente se pierden. Este filtro puede utilizarse cuando se necesite resaltar los elementos con alto contraste con respecto al fondo de la imagen.

**c.- Sharpen (Enfoque):** Este filtro acentúa todos los límites de una imagen mejorando significativamente todas las transiciones de intensidad de la imagen. Esto se consigue utilizando una técnica denominada “unsharp masking,” que en esencia enfoca una imagen restando el resultado del filtro de paso bajo de la imagen original (al menos este es el resultado, se realiza utilizando procesos de convolución, y no restando realmente una imagen desenfocada de la imagen original). El enfocado se utiliza para resaltar los detalles en una imagen, o para re-enfocar una imagen que ha sido desenfocada.

**d.- Gauss:** Este filtro se utiliza para suavizar una imagen eliminando la información relativa a las altas frecuencias utilizando una función Gausiana. El efecto obtenido es el de desenfoco de los límites. La operación del filtro Gausiano es similar a la del filtro de Paso Bajo, pero degrada menos la imagen.

**e.- Higauss:** Este filtro se utiliza cuando se desea mejorar los detalles. Funciona de forma similar al filtro de Paso Alto, pero introduce menos ruido en el proceso. Utiliza un kernel de tipo curva Gausiana.

Local Equalize (Ecuación Local): Este filtro se utiliza para mejorar el contraste de píxeles, utilizando el histograma de los vecinos.

**f.- Flatten (Aplanado):** Se utiliza para eliminar variaciones de fondo. Este se realiza en numerosas ocasiones para preparar una imagen para las operaciones de recuento o medidas si los objetos son difíciles de aislar debido a que el fondo contiene píxeles de la misma intensidad que los objetos de interés. El filtro Flatten reduce las variaciones de intensidad en los píxeles del fondo.

**g.- Median (Mediano):** Este filtro suaviza una imagen modificando los píxeles que varían significativamente con respecto a su alrededor. Esto se realiza reemplazando el píxel central de una vecindad con el valor mediano de los vecinos. Aunque el filtro mediano suaviza la imagen, generalmente mantiene los límites. Este filtro es particularmente efectivo eliminando el ruido aleatorio

### **1.1 - Edge Filters (Filtros de Contorno)**

**a.- Roberts:** Este filtro extrae y mejora los contornos o límites en una imagen, expresando las diferencias entre píxeles vecinos (Pares cruzados) como valores de intensidad. Entre vecinos donde no existen diferencias en los valores de los píxeles, el valor de esos píxeles se iguala al 0 (negro), donde existe la mayor diferencia posible, los píxeles se igualan a 255 (blanco). Los niveles intermedios de gris representan los niveles de diferencia. El resultado es una imagen donde los límites y contornos se resaltan sobre los valores del fondo.

Al contrario de la mayoría de los filtros, que utilizan una matriz cuadrada impar de vecinos, el filtro Roberts opera sobre una matriz de vecinos de 2 x 2. Como la matriz no tiene un píxel central, el

píxel del extremo superior izquierdo es el que se reemplaza con el nuevo valor. Su valor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$[(A - D)^2 + (C - B)^2]^{1/2}$$

Donde los vecinos se distribuyen:

A	B
C	D

El filtro Roberts mejora todos los límites de una imagen, incluso los que provienen del ruido.

**b.- Sobel:** Este filtro extrae y mejora los límites y contornos en una imagen expresando las diferencias (gradientes) entre píxeles vecinos como valores de intensidad. Esto se realiza combinando las diferencias entre las filas superior e inferior de la matriz, con las diferencias entre las columnas izquierda y derecha, utilizando la siguiente fórmula:

donde:

$$X = (C+2F+1)-(A+2I)+G$$

$$Y = (A+2B+C)-(G+2H+1)$$

Y la matriz se distribuye:

A	B	C
D	E	F
G	H	I

En la matriz donde no hay diferencia entre valores los valores de los píxeles se igualan a 0 (negro), donde existe la mayor diferencia posible, los píxeles se igualan a 255 (blanco). El resultado es similar al filtro Roberts: resaltando los límites sobre un fondo oscuro, pero el filtro Sobel es menos sensitivo al ruido en la imagen.

**c.- Laplacian (Laplaciano):** El filtro Laplaciano es un filtro de contornos que acentúa los cambios de intensidad en una imagen modificando unos valores de píxel exagerando su diferencia de intensidad con sus vecinos. Los resultados son similares a los del filtro de Paso Alto. Produce una imagen con cambios de intensidad muy bruscos, y el resultado es una imagen donde solo se ven los límites correspondientes a los altos cambios de contraste.

**d.- Horizontal Edge (Límites Horizontales):** Este filtro de contornos acentúa los límites horizontales en una imagen acentuando los píxeles con diferencias de intensidad con respecto a sus superiores o inferiores. Produce una imagen donde solo se muestran los límites horizontales sobre un fondo oscuro. El filtro de Límites Horizontales se utiliza cuando se necesita extraer estructuras horizontales de la imagen.

**e.- Vertical Edge (Límites Verticales):** Este filtro de contornos acentúa los límites verticales en una imagen acentuando los píxeles con diferencias de intensidad con respecto a los píxeles de la derecha y de la izquierda. Produce una imagen donde solo se muestran los límites verticales sobre un fondo oscuro. El filtro de Límites Verticales se utiliza cuando se necesita extraer estructuras verticales de la imagen.

**f.- Phase (Fase):** Este filtro produce una imagen que expresa la dirección de los cambios de intensidad ( el gradiente) en una vecindad como un valor de intensidad (este filtro es un complemento del filtro Sobel). El filtro de fase da a la imagen una apariencia como de tres dimensiones. Areas que no tienen diferencias de intensidad aparecen como planas, y aquellas que tienen variaciones son codificadas para indicar aquellas que son más oscuras o claras. Generalmente, las intensidades más claras muestran transiciones verticales.

**g.- Variance (Varianza):** Seleccionar este filtro si se desean detectar y enfatizar los limites y las texturas. El filtro de Varianza reemplaza la desviación estándar por sus vecinos.

**EJEMPLO DE FILTRAJE DIGITAL**  
(se aplica un kernel de 3 x 3 )

12	14	17	24	32	34
10	18	21	35	38	40
25	15	17	27	40	43
18	16	18	24	29	39
14	16	20	20	27	36

1	1	1
1	2	1
1	1	1

0	0	0	0	0	0
0	17	21	29	35	0
0	17	21	28	35	0
0	18	19	25	31	0
0	0	0	0	0	0

**2.- Nonconvolution / Morphological Filters (No Convolutivos / Filtros Morfológicos)**  
(Presentes solo en programas especializados en tratamiento de imágenes)

Filtros de No convolución también funcionan con píxeles vecinos, contrariamente, a los filtros de convolución, no multiplican los valores vecinos por un kernel (matriz) de coeficientes de filtrado, sino que funcionan solo con los datos de sus vecinos, y utilizan un método estadístico o una fórmula matemática para modificar el pixel que se desea.

**a.- Erode (Erosión):** El filtro de Erosión es un filtro morfológico que cambia la forma de objetos en una imagen por erosión (reducción) de los límites de los objetos más claros, y aumentando los límites de los oscuros. Se utilizan habitualmente para reducir, o eliminar, objetos pequeños claros.

**b.- Dilate (Dilatar):** El filtro de Dilatación es un filtro morfológico que cambia la forma de los objetos por dilatación (aumento) de los límites de los objetos más claros, y reduciendo los límites de los oscuros. El filtro de dilatación se utiliza para incrementar el tamaño de los objetos pequeños claros.

**c.- Open (Abrir):** El filtro de Apertura es un filtro morfológico que realiza una erosión, y después una dilatación. En imágenes que contienen objetos claros en un fondo oscuro, el filtro de apertura

suaviza los contornos de los objetos, rompe (abre) conexiones estrechas, elimina protuberancias pequeñas y elimina objetos pequeños oscuros. En imágenes con objetos oscuros sobre un fondo claro, el filtro de apertura rellena los objetos.

**d.- Close (Cerrar):** El filtro de Cierre es un filtro morfológico que realiza una dilatación seguida de una erosión. En imágenes que contienen objetos oscuros sobre un fondo claro, el filtro de cierre suaviza los contornos de los objetos, rompe conexiones estrechas, elimina pequeñas protuberancias, y elimina puntos pequeños claros. En imágenes con objetos claros sobre un fondo oscuro, el filtro de cierre rellena agujeros en los objetos.

**e.- Watershed (Lámina de Agua):** Este filtro separa objetos que están en contacto. El filtro Watershed erosiona objetos hasta que desaparecen, después los dilata otra vez, pero no permite que contacten de nuevo.

**f.- Thinning (Adelgazar):** Este filtro reduce una imagen a su esqueleto. Opera en forma binaria; los píxeles son parte de un objeto si su intensidad es superior a 12, en caso contrario, corresponden al fondo.

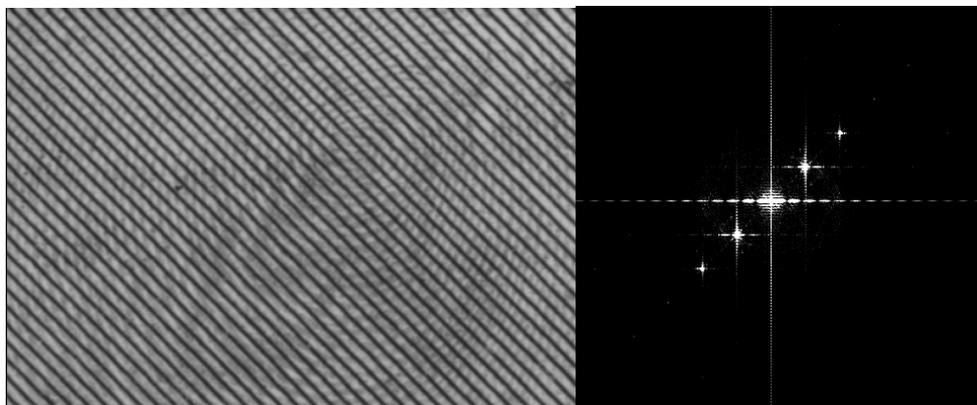
### **C.- Manipulación de la Frecuencia.**

En los casos anteriores procedimos con imágenes en lo que se denomina dominio espacial (x, y - profundidad de píxel). También podemos manipular una imagen desde el Dominio de las Frecuencias, esto es con su espectro. Convertir una imagen en su dominio de frecuencias se denomina Transformada de Fourier (el nombre se debe a su inventor, Joseph Fourier). El dominio de frecuencias de la imagen se presenta como una nube de puntos simétricamente centrada, donde el brillo representa la amplitud de la longitud de onda, y la posición representa la frecuencia de la longitud de onda.

En una imagen normal, el espectro aparecerá como una nube circular brillante y densa en su centro. Las imágenes que contienen un patrón regular reflejan este patrón en el espectro. Son estas características las que pueden ser eliminadas y de esta forma eliminar el ruido coherente. El ruido coherente se manifiesta normalmente como puntos brillantes situados al lado de la nube central. Borrando estos puntos se eliminan las frecuencias que causan el ruido.

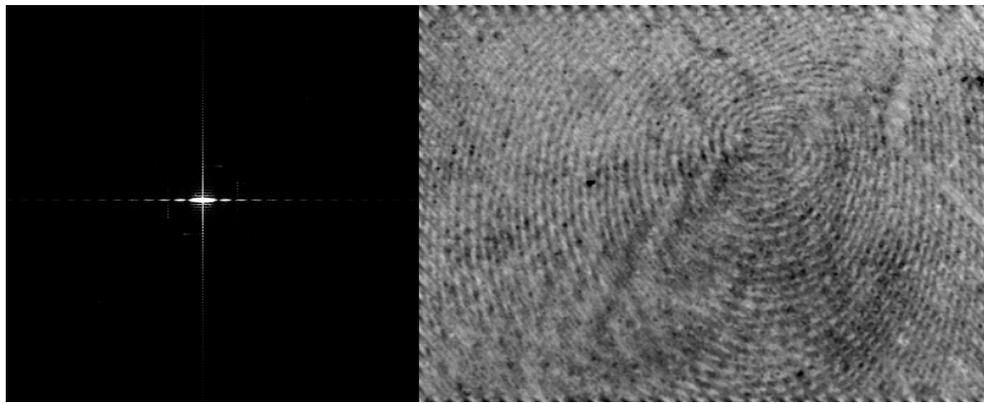
Las interferencias en la imagen que presentan un patrón regular a lo largo de la imagen pueden ser especialmente difíciles de eliminar utilizando filtros espaciales. La mejor manera de eliminar este ruido coherente o periódico es convirtiendo la imagen en un grupo de frecuencias, y editar y eliminar las frecuencias que causan el problema.

La transformada de Fourier puede utilizarse también para enfocar o desenfocar la imagen.



**Imagen poco nítida.**

**Su espectro.**



Mejora en el espectro.

Imagen resultante.

Ejemplo extraído de página web de Media Cybernetics – Image Pro®.

### **CLASIFICACION**

Programas adecuados nos permiten aplicar esta función. Permite agrupar los objetos en Clases, según sus características de medida, color, etc.

Buscan el reconocimiento automático de objetos de la imagen a partir de un análisis cuantitativo de los niveles de gris. Estos son clasificados en diferentes categorías en función de algún criterio de decisión objetivo.

#### **Tipos de clasificación:**

- a.- Clasificación Supervisada: Es cuando el operador decide o selecciona los parámetros a clasificar, siendo esta una de las mas usadas.
- b.- Clasificación No Supervisada: Es el ordenador quien toma la decisión de la operación. Se utiliza en casos muy especiales, donde no tenemos claro el resultado final, ayudando esta operación a dar una orientación.
- c.- Clasificación Híbrida: Es la aplicación de las dos anteriores.

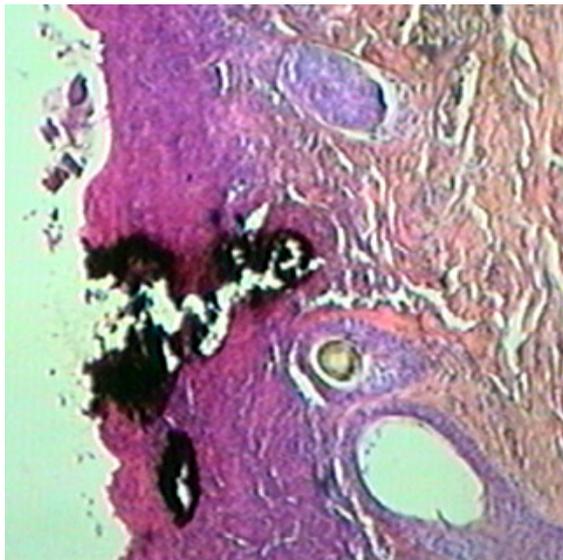
## **APLICACIONES EN EL LABORATORIO FORENSE DE LA SUPREMA CORTE DE JUSTICIA**

Las aplicaciones de Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes tienen variadas e innumerables utilidades en nuestros Laboratorios Forenses, en la gran mayoría de sus especialidades y disciplinas científicas, operando tanto en forma independiente como interdisciplinaria con las distintas Secciones.

### **A.- Aplicaciones con cámara CCD RGB y Scanner - (espectro visible)**

#### **Sección Anatomía Patológica:**

- a.- Morfometría y comparación de cabellos.
- b.- Estudio morfológico de células miocárdicas para diagnóstico de insuficiencia cardíaca.
- c.- Estudio morfométrico de huesos para determinación de edad, talla y sexo.
- d.- Estudio morfométrico de fetos.
- e.- Recuentos celulares.
- f.- Densitometría en disparos de armas de fuego.
- g.- Superposición de placas radiográficas previamente vectorizadas con fotografías de personas a identificar.
- h.- Densitometría ósea sobre placas radiográficas o cortes histológicos.

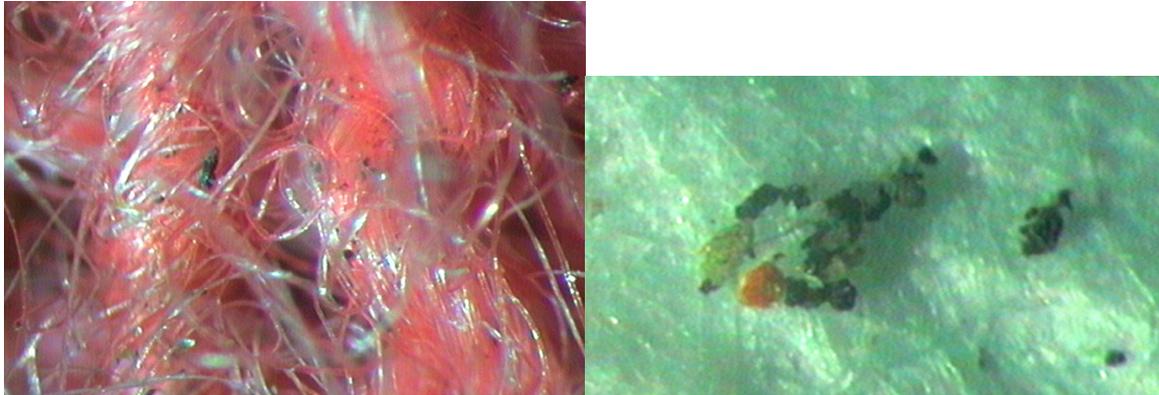


**Identificación y graficación de corte histológico con pólvora positivo.**

#### **Sección Química:**

- a.- Detección de adulteración de documentos, incluyendo: borrado, enmiendas, superposición de tintas, identificación por respuesta espectral de distintos tipos de tintas, medición de espesores de trazos, etc.
- b.- Realce y mejoramiento de placas TLC y cromatográficas en los casos que las corridas son poco discernibles al ojo humano.

- c.- Captura y mejoramiento de imágenes en revenidos en motores y armas, mejorando su visualización y cotejo por superposición entre los números.
- d.- Morfometría e identificación de distintos tipos de fibras.



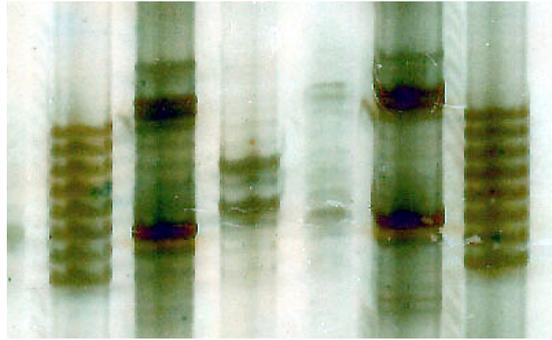
**Sector de prenda de lana. Se identifican y amplían restos carbonosos y minerales para su posterior identificación y cotejo.**



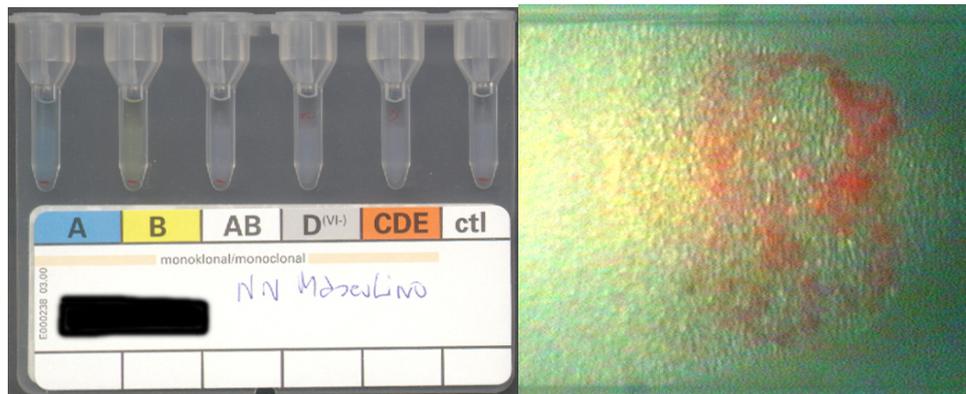
**Documentología. Sector de cheque adulterado por delaminación.**

**Secciones Inmunoematología y Genética:**

- a.- Permite la digitalización de perfiles de ADN y placas de tipificación grupal sanguíneo, logrando óptima visualización en zonas poco discernibles.



**Digitalización de perfiles de ADN. Se mejoran y grafican sectores poco discernibles.**

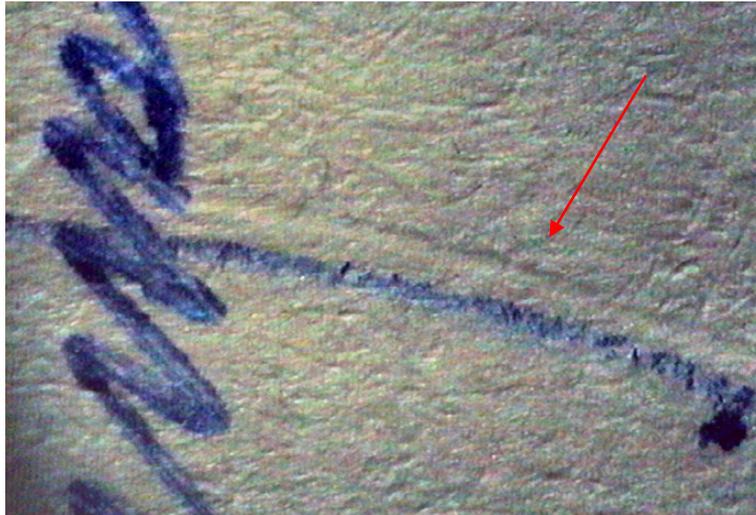


**Placa de tipificación grupal.**

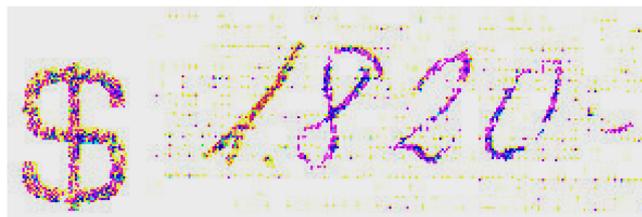
**Sector de aglutinación ampliado.**

### **Sección Caligrafía:**

- a.- Permite la captura de documentos y trazos bajo lupa binocular de alta resolución, ó microscopio, permitiendo la observación a escalas mayores a las habituales y su posterior graficación en alta resolución.
- b.- Cotejo de escrituras mecánicas o manuscritas por superposición.
- c.- Alteraciones en documentos, falsificaciones de papeles de uso oficial.
- d.- Cotejo por superposición de tipografía en máquinas de escribir.-
- e.- Determinación de falsificación de papel moneda.
- f.- Cotejo por superposición de sellos, a fin de determinar los apócrifos.
- g.- Determinación de superposición de escrituras con sellos.



**Sector de documento donde se realiza y grafica surco paralelo a la escritura.**



**La aplicación de filtros digitales adecuados denota distinta respuesta espectral en el número agregado 1**



**Mediante mejoras adecuadas y filtros de realce se reviene con mayor claridad lo escrito por debajo.**

### **Sección Balística:**

Permite, mediante la adaptación de la cámara digitalizadora al micro comparador de dicha Sección o elementos ópticos propios, poseer una imagen de excelencia, con amplios detalles, de los proyectiles analizados, pudiéndose realizar:

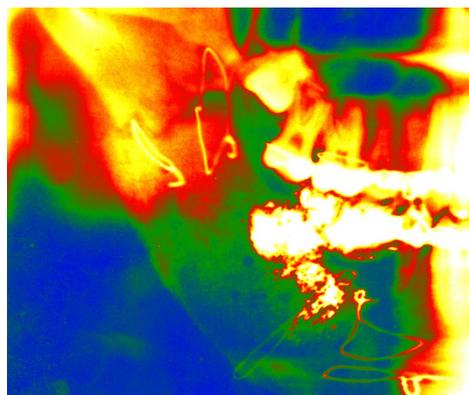
- a.- Cotejo de casquillos por superposición a fines de determinar impacto del percutor.
- b.- Medición del proyectil con precisión, en todas sus dimensiones,
- c.- Medición y comparación de perforaciones causadas por proyectiles.
- d.- Medición y cuantificación de estrías de proyectil. Cotejo por superposición con testigos.



**Sector de placa radiográfica de víctima de disparo. Se identificó y midió el tipo de proyectil.**

### **Sección Odontología:**

- a.- Determinación de edad y sexo por micrometría dentaria.
- b.- Medición de ángulo gonial.
- c.- Cotejo de fichas dentarias para identificación de cadáveres.
- d.- Superposición y cotejo de imágenes de rugas palatinas.
- e.- Superposición de placas radiográficas dentarias para cotejo e identificación de elementos metálicos.
- f.- Identificación de metales utilizados en restauraciones.
- g.- Determinación de talla mediante parámetros odontológicos.
- h.- Identificación de individuos por cotejo entre marcas de mordedura y moldes dentarios de sospechosos.



**Placa radiográfica digitalizada y convertida a falso color. Se observan con claridad piezas metálicas y distintas densidades de tejido.**



**Overlay entre mordedura en cadáver y molde dentario de sospechoso.  
Se logra identificar al culpable.**

### **B.- Aplicaciones con cámara CCD multispectral (ultravioleta – infrarrojo)**

Lo anteriormente expuesto se realiza con un sensor que capta solamente el espectro visible, o sea el rango comprendido entre las longitudes de onda de 0.4 y 0.76 nanómetros del espectro electromagnético, siendo simplemente lo que ven nuestros ojos (las combinaciones de rojo, verde y azul), región ésta muy pequeña del campo de las ondas electromagnéticas.

En este amplio espectro, (el de las ondas electromagnéticas), sin embargo, existen diversos rangos de "luz" que nuestros ojos y los sensores convencionales no pueden ver, como son los rayos X, los ULTRAVIOLETAS, y fundamentalmente los INFRARROJOS.

#### **Alcances Periciales del Infrarrojo**

En la actualidad se ha abierto un campo sumamente extenso a la digitalización infrarroja en lo que se refiere al estudio de documentos, identificaciones y descubrimientos de las falsificaciones. Los pigmentos y los colorantes y, en consecuencia, las tintas, barnices, pinturas y capas que los contienen, reaccionan de manera diferente acorde a su poder reflector ante el infrarrojo, siendo por ende identificables acorde a su composición.

Podemos citar, a modo de ejemplo, algunas de las aplicaciones.

#### **Documentología**

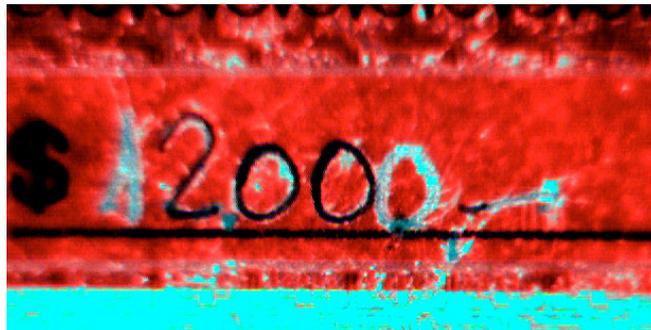
a.- Reconstitución de Documentos Quemados: Este problema se presenta muy complejo en la investigación Criminológica y Judicial. Un documento calcinado puede haber experimentado temperaturas muy variables, y según su soporte, presentan en estado muy diferente los posibles trazos residuales del escrito a determinar. La digitalización infrarroja obra, en estos casos,

esencialmente por las diferencias de respuesta espectral entre los componentes del papel y de la tinta, siendo entonces fácilmente identificable una escritura.



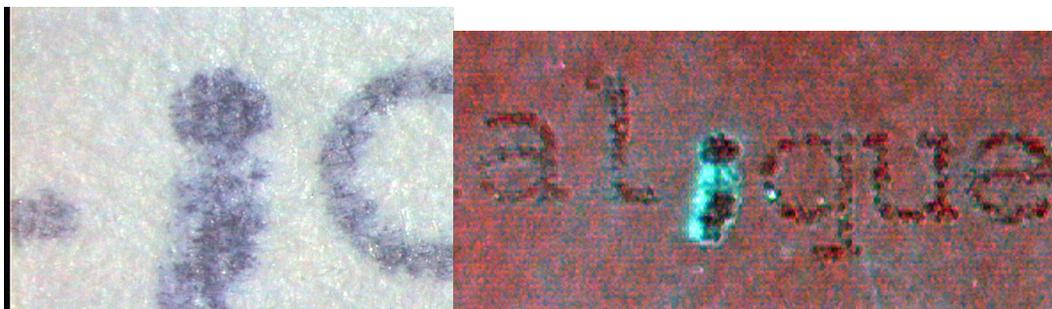
**Se identifica claramente lo escrito en papel carbonizado.**

b.- Agregado de enmiendas con distintas tintas: Cada tinta posee una respuesta espectral distinta ante el infrarrojo, por ende son fácilmente discernibles.



**Agregado de cifras en cheque.**

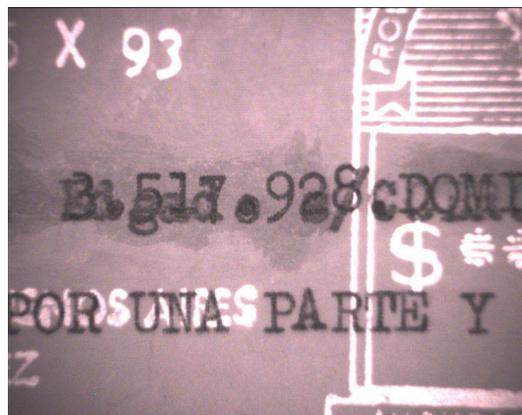
c.- Tachaduras: es posible, gracias la penetración del infrarojo sobre los soportes celulósicos, registrar escrituras tachadas o efectuadas en distintos tiempos por distintas tintas.



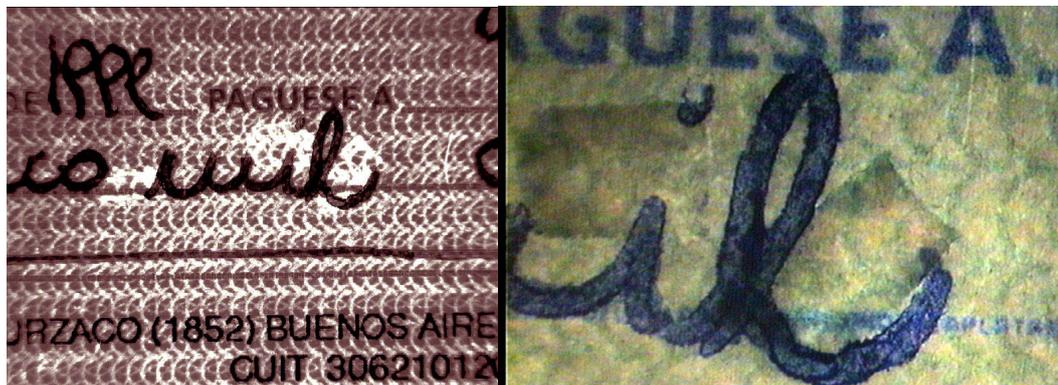
**Aplicando Infrarojo se ve claramente la modificación de una “coma” por “punto y coma”.**

d.-Marcas sobre papel subyacente al escrito: son fácilmente identificables los surcos bajorrelieve.

- e.-Comparación por superposición de distinta tipografía en máquinas de escribir e impresoras.
- f.-Fácil identificación de escritura en papeles pegados, gracias al poder de penetración del infrarrojo en materiales celulósicos.
- g.-Identificación de tarjetas magnéticas adulteradas (tarjetas de crédito, tarjetas de acceso a cuentas bancarias, etc.)
- h.-Identificación en un mismo documento de distintas tintas: Aplicando la técnica del infrarrojo, se evitaría en primera instancia efectuar las clásicas cromatografías, las cuales implican un costo de reactivos y placa de corrida y un tiempo estimado de dos horas, siendo además una técnica destructiva. Aplicando la técnica del infrarrojo, no existiría costo alguno en reactivos, el tiempo se limitaría a segundos, y la técnica sería NO destructiva, permitiendo además identificar claramente la zona del documento que fue alterada.
- i.- Perfecta reconstrucción de escrituras tapadas o corregidas con correctores.



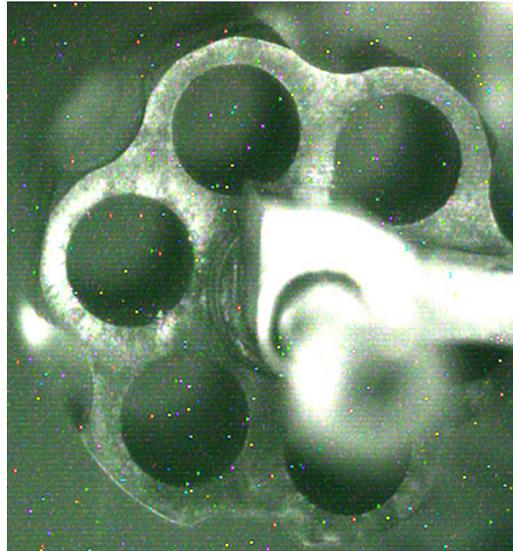
**Mediante IR pueden apreciarse la tinta del sello, de la máquina de escribir y lo subyacente a ésta, tapado con corrector.**



**Una rápida inspección bajo infrarrojo permite denotar una anomalía en el sector “mil”. El sector sospechado es digitalizado bajo lupa binocular, con luz y filtros adecuados. Aparece claramente la delaminación.**

### **Balística**

Es posible, en prendas oscuras, determinar con precisión el halo de deflagración de pólvora en disparos con arma de fuego, cosa imposible a simple vista, ya que al infrarrojo los componentes de la pólvora tienen distinta refractancia a las telas.



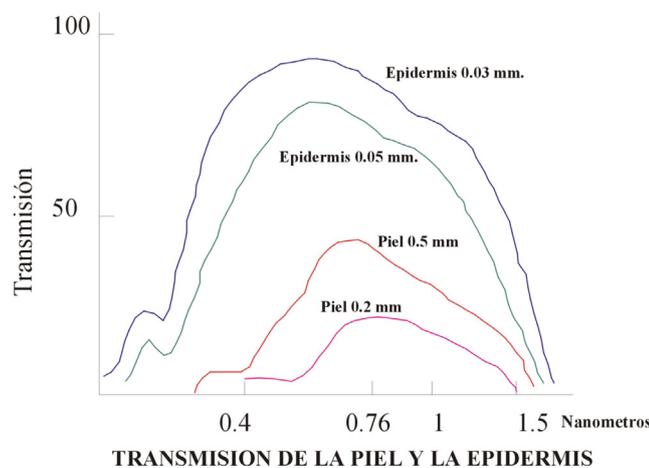
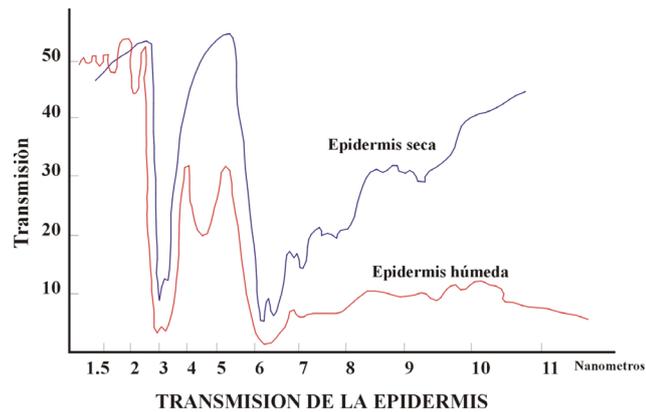
**En este caso, bajo la observación al infrarrojo, la distinta respuesta espectral de la pólvora indica, en tonos más claros, el sector del tambor del arma que disparó el proyectil.**

### **Medicina Forense**

1-La piel humana tiene distintos comportamientos al infrarrojo, el cual está dotado de un poder de penetración bien marcado en la capa córnea, estrato más superficial de la piel y del cuero. No obstante, la queratina no es la única que interviene en los fenómenos que resultan de una irradiación infrarroja de la piel, sino que debe considerarse como un complejo: epidermis (cuya permeabilidad puede variar según su estado de sequedad), pigmentos, incluyendo la melanina, tejido celular y el agua de su constitución. La pigmentación, e incluso el agua, tiene un papel muy importante; sucede lo propio con la hemoglobina subyacente, que presenta un máximo de absorción al nivel del amarillo en el visible y que es transparente en el rojo y el infrarrojo próximo, mientras que la sangre es absorbente a partir del anaranjado, hacia las longitudes de onda corta. Debido a su gran hidrofilia y a su vascularización tan rica, puede considerarse el complejo piel como un filtro fisiológico, cuya permeabilidad al infrarrojo nos brinda datos no visibles al ojo humano.

2- Retratos tomados con infrarrojo: La transparencia de la piel al infrarrojo se pone en evidencia por el hecho de que la toma efectuada a un individuo recién afeitado, nos denotaría las raíces de la barba.

Los pigmentos ocultos y el sistema venoso se destacan notablemente. Los tatuajes, borrados superficialmente, reaparecen. Sería posible la detección de hematomas subyacentes con notable nitidez, y con altas probabilidades de determinar la cronología de la lesión.



### Anatomía Patológica e Histología

La toma de imágenes en infrarrojo de cortes histológicos permite estudios muy minuciosos, a saber:

a.- Clara diferenciación de pólvora de la melanina en disparos a corta distancia, en casos de putrefacción del material remitido, permitiendo además el estudio de igual problema en piezas macroscópicas (estudio experimental para luego cotejar los resultados en la microscopía). De resultar, lo cual es muy probable, permitiría una rápida determinación de la deflagración, evitando costos y tiempos de preparado del corte histológico, y por ende una inmediata resolución, siendo además una técnica no destructiva.

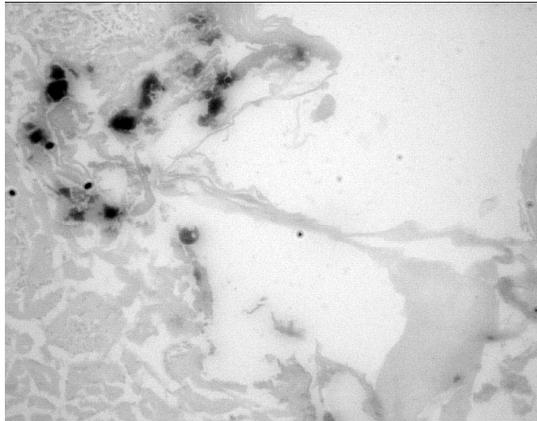
b.- Los núcleos y las membranas celulares son más transparentes que con la luz visible, pudiendo distinguirse con mayor nitidez los cloroplastos y los cromosomas.

c.- En el caso de estudio de tumores nerviosos en los que los núcleos celulares quedan mas o menos ocultos por las fibrillas, estas desaparecerían ante el infrarrojo, permitiendo distinguir bien los núcleos.

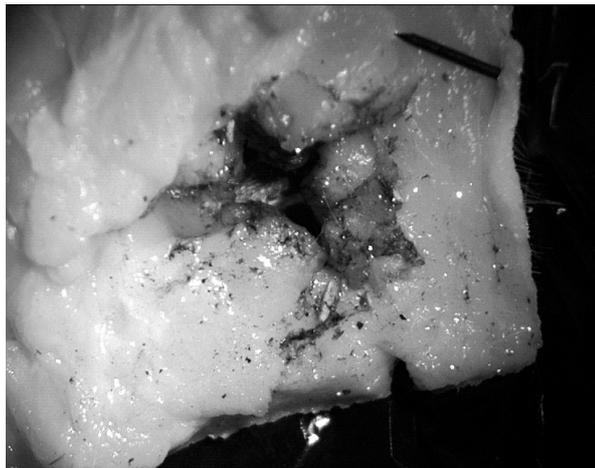
d.- En la observación de pelos, queda visible la médula, permitiendo una mejor determinación del índice de médula, al borrarse lo suficiente la pigmentación cortical. También se evitaría el enmascaramiento por teñidos.

Permite una mejor apreciación de las diversas estructuras de cutícula.

- e.- Determinación de pigmentos diversos no hemáticos en la piel y otros tejidos, a saber: depósitos de tetraciclinas; depósitos de flúor; depósitos de calcio; depósitos de bilirrubina; etc., y diferenciación en cortes delgados de pigmentos versus artefactos (depósitos de formol cristalizado).
- f.- Detección de micro hemorragias en tejidos duros, tales como dientes y huesos.
- g.- Detección de distintos tipos de hemoglobina, para diagnóstico de especie y de hemoglobina fetal para casos de aborto.



**Los sectores del corte más oscuros del corte histológico, observados bajo infrarrojo corresponden a restos de pólvora.**



**Sector interno de piel de cerdo, donde con técnicas infrarrojas se detectaron y aislaron restos de pólvora. Este ejemplo corresponde a una experiencia efectuada en nuestros Laboratorios conjuntamente con Médicos Forenses, Patólogos y Balísticos.**

### **Inmunoematología**

Gracias a las distintas respuestas espectrales en la banda del infrarrojo de los fluidos corporales, serían fácilmente identificables en prendas oscuras las manchas de tejido hemático y fundamentalmente de semen, ya que en prendas en malas condiciones de higiene es difícil de observar. Con este método, se localizaría la mácula con absoluta precisión, evitando los cortes de prendas al azar para su búsqueda. La aplicación de esta técnica, de ser requerido, sería no destructiva.

## **OTRAS APLICACIONES**

También es factible manipular imágenes aéreas y satelitales. Estas poseen en la actualidad gran resolución, tanto en el dominio del espectro, como del espacio y del tiempo, ya que se puede contar con imágenes de un mismo sitio geográfico con distintos tiempos de fecha de toma, lo cual permite con amplia precisión determinar cambios ocurridos con el paso del tiempo (inundaciones, trazos de rutas, alteraciones ecológicas, desechos industriales en grandes cuerpos de agua, etc.). Estas imágenes pueden ser provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

**17 Enero 1999 10:48 hs.**



**18 Febrero 1999 10:48 hs.**



**Imágenes satelitales del Partido de Magdalena, Pcia. de Buenos Aires. Se observa derrame de petróleo ocurrido en la zona. El trabajo multitemporal permite seguir la evolución del derrame y cuantificarlo. Las imágenes fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, correspondiendo ambas a tomas del satélite Landsat 5 en formato TM.**

Esta breve presentación de los alcances del Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes pretende, con su aplicación, abrir al hombre de Ciencia nuevos horizontes, especialmente lleno de posibilidades, pudiéndose emplear, además de lo expuesto, en nuevas y originales investigaciones.

Es importante destacar que estos procedimientos implican una resolución prácticamente inmediata de los Peritajes, no son destructivos, quedando el material objeto de estudio inalterado, los resultados quedan almacenados en formato digital (tanto imagen original como resultantes), ofreciendo una inmediata disponibilidad a quien lo requiera, y, fundamentalmente, poseen un costo final irrisorio: un impreso en papel.

Lo expuesto no es más que un breve resumen de las Técnicas y metodologías aplicadas, quedando este Laboratorio abierto a toda otra inquietud, dada su gran variedad de aplicaciones.

Actualmente se realizan tareas de investigación, tanto bibliográfica como práctica, tendiente a la búsqueda de nuevas utilidades, con la intención de “anticiparnos” a los hechos delictivos y no como comúnmente ocurre, aprender luego de ellos.

Por todo lo expuesto, este Laboratorio queda a entera disposición de los Organismos Oficiales para ampliar detalles y metodologías.

*Las cosas que vemos no son lo que parecen...  
Permanece totalmente desconocido para nosotros  
lo que los objetos pueden ser por sí mismos,  
independientemente de lo que perciben nuestros sentidos.  
No sabemos nada sobre ellos, excepto nuestra forma de percibirlos...*

EMMANUEL KANT

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Baxes, Gregory A., *Digital Image Processing: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1994

Castleman, Keneth R., *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1979.

Conrac Corporation. *Raster Graphics Handbook*, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold Conipany, New York, 1985.

Foley, J. D., et al. *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1990.

Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E., *Digital Image Processing*, Addison Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1992.

Newmann, W. M. & Sproul, R. F. *Principles of Interactive Computer Graphics*, McGraw-Hill, New York, 1973.

Pratt, William K., *Digital Image Processing*, John Wesley and Sons, New York, NY, 1978.

Rosenfield, A. and Kak, A. *A Digital Picture Processing, Volumes I and II*. Academic Press, San Diego, 1982.

Russ, John C., *The Image Processing Handbook*, 3rd Edition, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 1998.

Russ, John C., *Computer-Assisted Microscopy, The Measurement and Analysis of Images*, Plenum Press, New York, NY, 1990.

Image Pro Plus – *Guía de Referencia*  
Media Cybernetics, Silver Spring, MD, 1999.

Intercambios (N.º 3), 2001.

Emilio Chuvieco, *Fundamentos de Teledetección Espacial*  
RIALP, Madrid, 1990.

Adobe Photoshop, *Guía del Usuario*,  
Adobe Systems Incorporated, 1998.

Nicolás Pérez de la Blanca Capilla, *Fundamentos del Tratamiento de Imágenes. Visión por Computador*.  
Abril 1995.

-