

# Introducción al Procesamiento Digital de Imágenes

Víctor Manuel García Luna  
Universidad Tecnológica de la Mixteca  
Huajuapán de León, Oaxaca, México  
01 953 53 20399  
vicman@mixteco.utm.mx

## Resumen

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es el procesamiento de imágenes digitales por medio de una computadora digital. Las imágenes digitales incluyen a aquellas obtenidas del rango visible del espectro electromagnético, imágenes acústicas, electrónicas y sintéticas. Un paradigma del Procesamiento Digital de Imágenes suele clasificar los tipos de procesamiento computarizados en tres tipos: bajo, medio y alto.

Los antecedentes históricos del Procesamiento Digital de Imágenes se remontan a la impresión de periódicos en 1921, en donde la codificación y transmisión de datos se realizaba por cable submarino, razón por la cual no se le considera formalmente como procesamiento digital. La historia del PDI está directamente relacionada con el desarrollo y evolución de las computadoras, dado que el PDI requiere un alto poder computacional para almacenar y procesar imágenes. Es a partir de las máquinas poderosas de los años 60's, en conjunto con el Programa Espacial de los Estados Unidos de Norteamérica, lo que dio origen a lo que hoy conocemos como PDI.

Existe una inmensa gama de áreas donde el PDI se utiliza de manera habitual. Una manera sencilla de clasificar a las imágenes es dependiendo de la fuente de su obtención (rango visible del espectro electromagnético, rayos X, imágenes acústicas, etc.).

En términos generales, los pasos fundamentales en el Procesamiento Digital de Imágenes son: adquisición de la imagen, realce de la imagen, restauración de la imagen, procesamiento de imagen en color, ondeletas y procesamiento de multiresolución, compresión, procesos morfológicos, segmentación, representación y descripción, y reconocimiento.

Los componentes fundamentales del PDI son: sensores, digitalizadores, hardware especial, computadora, software, almacenamiento, monitores (desplegado), hardcopy (impresión), y el acceso a red.

Los conceptos son definidos brevemente para generar un panorama del Procesamiento Digital de Imágenes.

## Palabras clave

Procesamiento, digital, imágenes.

## 1. INTRODUCCION

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es el procesamiento, entendiendo éste como el almacenamiento, transmisión y representación de información, de imágenes digitales por medio de una computadora digital.

El término imagen se refiere a una función bidimensional de intensidad de luz  $f(x, y)$ , donde  $x$  e  $y$  denotan las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en cualquier punto  $(x, y)$  es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. Una imagen digital puede considerarse como una matriz cuyos índices del renglón y columna identifican un punto en la imagen y el correspondiente valor del elemento de la matriz que identifica el nivel de intensidad de luz en ese punto. Los elementos de tal arreglo digital son llamados elementos de imagen, elementos de pintura, pixels o pels.

El interés en el procesamiento digital de imágenes se basa esencialmente en dos aspectos: en mejorar la información contenida en una imagen para la interpretación humana y en el tratamiento de los datos de una escena para la percepción autónoma por una máquina.

La visión es el sentido más avanzado, y no es de sorprenderse que las imágenes jueguen un papel primordial en la percepción humana. A diferencia de los humanos que sólo perciben una mínima parte del espectro electromagnético, los equipos de adquisición de imágenes digitales pueden trabajar con todo el rango del espectro electromagnético. Aunado a las imágenes obtenidas del espectro electromagnético, se pueden incluir imágenes acústicas, electrónicas y sintéticas.

Dado el amplio rango de tipos de imágenes empleadas en el PDI, no existe un límite claro respecto a dónde se encuentra la línea divisoria entre el PDI y otras áreas afines, como el análisis de imágenes, la visión por computadora, entre otras. El análisis de imágenes se refiere al procesamiento en donde la entrada es una imagen y la salida son datos a interpretar. La visión por computadora emula la visión humana y utiliza técnicas de conocimiento para la toma de decisiones, como en la Inteligencia Artificial.

Un paradigma del Procesamiento Digital de Imágenes suele clasificar los tipos de procesamiento computarizados en tres categorías: bajo, medio y alto. Los procesos de nivel bajo incluyen la reducción de ruido, realce de contraste, y en general, realce de características de la imagen, en este caso todas las entradas/salidas son imágenes.

Los procesos de nivel medio incluyen la segmentación (regiones, objetos), descripción de objetos, clasificación, etc. La entrada es una imagen y la salida son atributos de objetos (bordes, contornos, identidades de objetos individuales).

Por último, los procesos de nivel alto involucra darle sentido al conjunto de objetos encontrados, análisis de la imagen y llevar a cabo funciones cognitivas normalmente asociadas con la visión.

## 2. ORÍGENES DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Los antecedentes históricos del Procesamiento Digital de Imágenes se remontan a la impresión de periódicos en 1921. En aquella época la codificación y transmisión de datos se realizaba por cable submarino entre las ciudades de Londres y Nueva York, en donde se reconstruía e imprimía.

Una mejora al proceso ocurrió en 1922, cuando se empleó una técnica basada en la reproducción fotográfica realizada a través de cintas perforadas en las terminales telegráficas receptoras, que permitieron 5 niveles de gris. Hacia 1929, la técnica se mejoró hasta obtener 15 niveles de gris en la reproducción de una fotografía.

La evolución de la calidad tonal y resolución en las imágenes puede observarse en la figura 1.



a) Imagen obtenida en 1921, primeras imágenes



b) Imagen obtenida en 1922, evolución de la técnica



c) Imagen obtenida en 1929, ya con 15 niveles de gris

**Figura 1. Evolución en la calidad de imágenes en los primeros años de técnicas de procesamiento de imágenes.**

A pesar de estos avances, las imágenes producidas con esas técnicas no se consideran los inicios del PDI debido a que su creación no involucró el uso de la computadora.

Dada su definición, la historia del PDI está directamente relacionada con el desarrollo y evolución de las computadoras, dado que el PDI requiere un alto poder computacional para almacenar y procesar imágenes. Por tanto, su progreso ha ido de la mano con el desarrollo de tecnologías de hardware.

Entre los principales aportes tecnológicos para el PDI se encuentran: la invención del transistor en los Laboratorios Bell en 1948, el desarrollo de lenguajes de programación de alto nivel en la década de los 60's, la invención del Circuito Integrado (CI) por Texas Instrument en 1958, el desarrollo de los sistemas operativos a inicios de la década los de los 60's, la introducción de la Computadora Personal (PC) por el gigante corporativo IBM en 1981, la miniaturización de componentes a gran escala (LSI) en 1970, posteriormente a muy gran escala (VLSI) en 1980 y a ultra escala (ULSI) hasta la actualidad,

además de los avances en el desarrollo de sistemas de almacenamiento y desplegado.

Es a partir de las máquinas poderosas de los 60's en conjunto con el Programa Espacial de los Estados Unidos de Norteamérica, lo que dio origen a lo que hoy conocemos como PDI.

En ese sentido cabe recordar la primera imagen tomada a la luna por el *Ranger 7* y transmitida a la tierra el 31 de julio de 1964, la toma tardó alrededor de 17 minutos antes de impactar la superficie de la luna, la imagen se aprecia en la figura 2.



**Figura 2. Primera imagen de la luna obtenida gracias al PDI.**

De manera paralela al desarrollo del Programa Espacial en los 60's y 70's, el PDI comenzó a ser muy utilizado en áreas como: imágenes médicas, observaciones terrestres remotas, astronomía, geografía, arqueología, biología, aplicaciones industriales, entre otras disciplinas.

## 3. CAMPOS DE APLICACIÓN DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Existe una inmensa gama de áreas donde el PDI se utiliza de manera habitual. Una manera sencilla de categorizar a las imágenes es dependiendo de la fuente de su obtención (rango visible del espectro electromagnético, rayos X, imágenes acústicas, etc.).

Como se ha mencionado, la principal fuente de energía para generar las imágenes que están en uso hoy día es el espectro electromagnético.

Otra forma de generar imágenes son obtenidas empleando rayos Gamma, sus aplicaciones incluyen la medicina nuclear y observaciones astronómicas. Por ejemplo la gammagrafía ósea, la Tomografía por Emisión de Positrones (PET), el ciclo Cygnus, generado por la explosión de una estrella en la constelación Cygnus, además de la radiación producida por una válvula de reactor nuclear, entre otras.

Por otra parte, las imágenes generadas por el uso de rayos X tienen sus principales aplicaciones en la medicina, la astronomía y la industria. Por ejemplo, una imagen del tórax, un angiograma de la aorta, la técnica de Tomografía Axial Computarizada (TAC), una tarjeta de circuito electrónico para examinar componentes, pistas rotas o faltantes, inclusive en la astronomía el ciclo Cygnus con rayos X.

También es posible obtener imágenes empleando la banda ultravioleta del espectro electromagnético, teniendo como

principales aplicaciones la litografía, la inspección industrial, la microscopía, lasers, imágenes biológicas y la astronomía, por ejemplo, la microscopía de fluorescencia o el ciclo Cygnus con banda ultravioleta.

Respecto a las imágenes captadas en la banda visible e infrarroja del espectro, sus aplicaciones principales están en la microscopía de luz, la astronomía, el sensado remoto y la rama industrial. Por ejemplo, visualizar imágenes con un microscopio de luz como el taxol, colesterol, un microprocesador, una capa delgada de óxido de níquel, la superficie de un CD o un superconductor de audio, por citar algunos casos. Dentro de las aplicaciones climatológicas, se encuentra la visualización de fenómenos atmosféricos, como los huracanes, por satélite. A través de las imágenes satelitales también es posible realizar un inventario global de asentamientos humanos, definir el consumo global de energía, etc. Por ejemplo, bandas entre  $10$  y  $13.4 \times 10^{-6}$  m es posible observar luces muy tenues en la superficie de la tierra: ciudades, pueblos, villas, flamas de gas y fuego.

Respecto a las aplicaciones de las imágenes de la banda visible se encuentran la inspección automática de objetos industriales. Por ejemplo, la tarjeta controladora de CD-ROM, contenedores de cápsulas, detectores de botellas que no cumplen con el nivel de llenado requerido, piezas de plástico con burbujas de aire, muestras de cereal para inspección del color, implantes intraculares para defectos del material, etc. Otras aplicaciones son la identificación o conteo de objetos, por ejemplo la huella digital, el papel moneda, lectura automática de placas, etc.

Las imágenes de la banda de microondas tienen aplicaciones de radar, ya que éste puede penetrar nubes, bajo ciertas condiciones se puede ver a través del hielo o vegetación e incluso en suelo muy seco. La energía de microondas es reflejada en una antena de radar y de ahí se reconstruye la imagen.

En aplicaciones de medicina, es posible pasar ondas de radio a través del cuerpo humano en pulsos cortos. Cada pulso causa un pulso respuesta del tejido, cuya localización y potencia se utilizan por una computadora para reconstruir la imagen, con ello es posible obtener resonancias magnéticas nucleares (MRI) de diversas partes del cuerpo, por ejemplo rodilla, columna vertebral, etc.

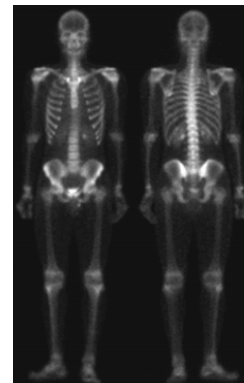
Las imágenes de la banda de radio tienen su mejor aplicación en astronomía y medicina. En medicina las ondas de radio son usadas en Imágenes de Resonancia Magnética (MRI). En astronomía puede obtenerse imágenes del "Crab Pulsar" (una explosión de supernova gigante seguida del colapso masivo de estrellas en evolución) en la banda del radio, permitiendo visualizar información diferente a la aportada por imágenes obtenidas de la banda de rayos X, gamma e infrarrojo.

Otras formas de obtener imágenes, presenta a las imágenes acústicas, el ejemplo más notorio de este tipo de imágenes es el ultrasonido, en donde un sistema despliega las distancias e intensidades de los ecos reflejados por los tejidos en una pantalla. A través de un ultrasonido es posible realizar un seguimiento al embarazo, o captar imágenes de partes del cuerpo como la tiroides o las capas musculares.

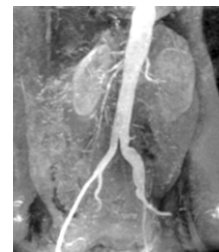
Dentro de otras modalidades de obtención de imágenes se encuentran las imágenes electrónicas, como la microscopía electrónica, la microscopía de escaneo de electrones (SEM) y la microscopía de transmisión de electrones (TEM), en este tipo de obtención de imágenes se utilizan rayos de electrones enfocados en vez de rayos de luz como los microscopios

ópticos. A través de esta técnica es posible captar un filamento de tungsteno o detectar un circuito integrado dañado.

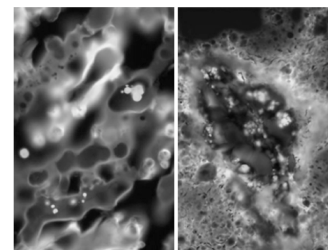
Algunos ejemplos de diferentes tipos de imágenes se muestran a continuación.



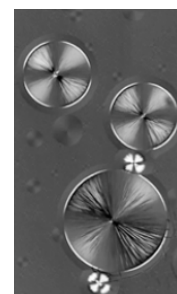
**Figura 3. Imagen obtenida empleando rayos gamma, scaneo de huesos.**



**Figura 4. Imagen obtenida empleando rayos X, angiograma de aorta.**



**Figura 5. Imagen obtenida empleando rayos ultravioleta, maíz normal (der.) y maíz infectado (izq.) .**



**Figura 6. Imagen electrónica, Taxol (agente anti cáncer) aumentado 250x.**

## 4. PASOS FUNDAMENTALES EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

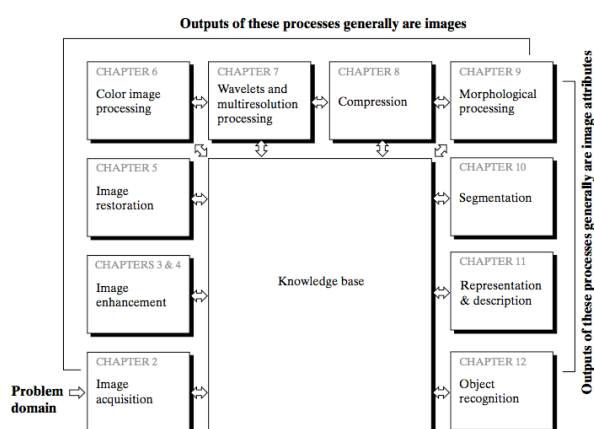
Como se ha mencionado anteriormente, es posible agrupar a los métodos de PDI en dos categorías principales:

- Métodos cuya entrada y salida son imágenes
- Métodos cuyas entradas pueden ser imágenes, pero cuyas salidas son atributos extraídos de esas imágenes.

En términos generales, los pasos fundamentales en el Procesamiento Digital de Imágenes son:

1. Adquisición de la imagen
2. Realce de la imagen
3. Restauración de la imagen
4. Procesamiento de imagen en color
5. Ondeletas y procesamiento de multiresolución
6. Compresión
7. Procesos morfológicos
8. Segmentación
9. Representación y descripción
10. Reconocimiento

Un esquema de lo anterior se puede observar en la figura 1.



**Figura 1. Pasos fundamentales en el procesamiento digital de imágenes (PDI).**

En la etapa de adquisición de la imagen, se encuentran los sensores de imágenes y su capacidad para digitalizar las señales colectadas por los sensores:

- Cámaras de video
- Cámaras digitales
- Cámaras convencionales
- Convertidores analógico-digital

Estos dispositivos pueden formar la imagen, realizar un muestreo y realizar una representación discreta de la imagen digital.

En el realce de la imagen, es posible realizar alguna o algunas de las siguientes acciones:

- Resaltar detalles que estén oscuros
- Realce de contraste
- Realce de detalles de interés

Las zonas o detalles de interés estará en función de la aplicación y del objetivo planteado en el PDI.

El paso de restauración de la imagen es un área que también se relaciona con la mejora en la apariencia de una imagen. A diferencia del concepto de realce, el cual es subjetivo, la restauración es objetiva, es decir, utiliza técnicas basadas en matemáticas y en probabilidad para modelar la degradación.

El paso de procesamiento en color tiene un uso muy frecuente, ya que la imagen en color puede dar información adicional a la imagen en tonos de gris, dependiendo de la aplicación. Para poder procesar una imagen en color resulta imprescindible manejar los siguientes conceptos:

- Fundamentos del color
- Modelos básicos del color
- Pseudocolor
- Procesamientos básicos de imágenes en color

Las ondeletas, o Wavelets en su término en inglés, son las bases para representar imágenes en varias resoluciones o escalar. En particular este tipo de aplicaciones pueden ser utilizadas en:

- Compresión de imágenes
- Representación piramidal de escalas

La compresión de imágenes se trata, precisamente, de comprimir la imagen con dos propósitos fundamentales:

- Reducir su tamaño para su almacenamiento
- Reducir su ancho de banda para su transmisión

Respecto a los medios de almacenamiento han mejorado enormemente con el paso de los años, no de la misma manera que los medios de transmisión.

En el siguiente paso, los procesos morfológicos son el conjunto de herramientas usadas para extraer aquellos componentes de una imagen que son útiles para la representación y descripción de formas.

La segmentación es un proceso que se utiliza para extraer o aislar del resto de la imagen los objetos para su posterior análisis. Se da en dos sentidos:

- Segmentación autónoma, la cual puede facilitar procesos subsecuentes
- Salidas, pixeles borde o que indican la frontera entre objetos, esquinas, texturas, etc.

El paso de representación y descripción consiste en una selección de características (descripción), el proceso consiste en extraerlas en:

- Representación como bordes: características de forma externa como esquinas, inflexiones, etc.

- Representación como regiones: características de propiedades internas como texturas, forma del esqueleto, etc.

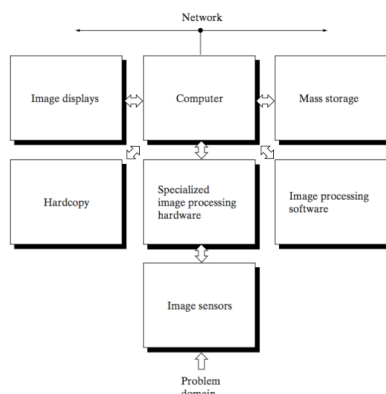
En el reconocimiento, es posible asignar una etiqueta a un objeto, basados en la información provista por los descriptores, o bien asignar un significado a un grupo de objetos ya reconocidos.

El conocimiento acerca del dominio del problema está codificado dentro del sistema de procesamiento de imágenes en forma de una base de datos de conocimiento. Este conocimiento puede ser tan simple como detallar las regiones de donde la información de interés es sabido puede ser situada, o bien, compleja definiendo una lista de características tomadas de diferentes contextos.

No todas las aplicaciones del PDI requieren de toda la complejidad de los procesos anteriormente descritos, en realidad no todos estos módulos son necesarios en muchos casos. Es posible decir, en términos generales que mientras la complejidad de una tarea de procesamiento digital de imágenes crece, el número de procesos requeridos para resolver el problema también crece.

## 5. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

La figura 2 muestra los componentes de un sistema general de procesamiento digital de imágenes.



**Figura 2. Componentes generales de un sistema de procesamiento digital de imágenes (PDI).**

Los componentes son:

- Sensores
- Digitalizadores
- Hardware especial de procesamiento de imágenes
- Computadora
- Software especial de procesamiento de imágenes
- Almacenamiento
- Monitores (para el despliegue)
- Hardcopy (para la impresión)
- Acceso a red

La imagen de sensores, representa al conjunto de sensores, sensibles a la energía radiada por el objeto.

El software especializado en Procesamiento Digital de Imágenes, es el hardware encargado de convertir las señales de salida de los sensores a datos digitales.

La computadora, es la encargada de ejecutar las aplicaciones de PDI.

El software de procesamiento de imágenes, es el conjunto de bibliotecas de PDI de propósito general.

Mass storage, es la unidad de almacenamiento (RAM, memoria de video, dispositivos de almacenamiento secundarios)

Pantallas, medios de despliegue, por ejemplo monitores de CRT, LCD, plasma y especializados (estereos).

Hardcopy, representa a los dispositivos que permiten grabar una imagen, como impresoras, plotter, y grabado en película.

La red, se encarga de transmitir las imágenes

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Segunda Edición, Prentice Hall, E.U.A. 2002.