

Obtención imágenes médicas **digitales** y la COMPUTACIÓN

Manuel **Martín Ortiz**
Iván **Olmos Pineda**
Arturo **Olvera López**

La imagenología médica se refiere al conjunto de métodos y procesos que permiten crear imágenes del cuerpo humano o partes de él, con propósitos clínicos o para la investigación. Los primeros ayudan a revelar, diagnosticar y examinar áreas u órganos y su estado de salud. Y los segundos a identificar regularidades o irregularidades no tan evidentes con el fin de entender la normalidad o desviaciones de esta ante diferentes factores internos y externos.

La química, física y electrónica han sido las ramas de la ciencia precursoras en la creación de las imágenes médicas, pero en las últimas décadas la computación ha permitido realizar procedimientos de análisis, identificación y predicción importantes en dicha área, obviamente en conjunción con las demás áreas de la ciencia y la tecnología. En este trabajo se hace una revisión breve de los aportes de la computación a las ciencias médicas y su relación con la obtención de imágenes médicas digitales.

HISTORIA

Desde la antigüedad, entender el funcionamiento del cuerpo humano y registrar lo que sucede en él ha sido de especial interés para diferentes culturas y pueblos. Las evidencias de esta afirmación son muy conocidas e incluyen el Papiro Ebers (1500 A.C.),¹ el *Corpus Hipocrático*,² las contribuciones de la Escuela de Alejandría (s. IV A.C.),^{3,4} los trabajos de Galeno de Pérgamo⁵ y, en fechas posteriores, el libro de Jacopo Berengario da Carpini *Anatomia Carpi* (1535), considerada como el primer texto de anatomía con ilustraciones,⁶ y la obra de Andreas Vesalius *De humani corporis fabrica* (1543).⁷ Podemos decir que lo que las palabras de estos anatomistas no podían expresar se mostró mediante ilustraciones, es decir, usando imágenes.

Durante varias décadas a partir de entonces, las imágenes anatómicas ilustraron aspectos referentes al mundo macroscópico, y no fue hasta la invención del microscopio (1608) que fue posible observar y estudiar la estructura de los tejidos, las células y sus componentes. Esto permitió entender muchos aspectos del cuerpo humano y el origen de diversas enfermedades y malformaciones.⁸ Los métodos para la adquisición de información, tanto textual como en imágenes, fueron mejorando y se crearon tratados ilustrados cada vez más precisos y detallados los cuales, además de describir estructuras, incluían información sobre su funcionamiento (fisiología) y la interdependencia funcional entre los órganos. Más adelante, el microscopio asistido por una cámara fotográfica permitió capturar imágenes que podían ser estudiadas a detalle, realizar ampliaciones de ellas y efectuar mediciones con base en patrones de escala. Luego, en el siglo XX, el microscopio electrónico permitió magnificaciones miles de veces mayores que las obtenidas con los microscopios ópticos más potentes.

Para finales del siglo XX, la computación empezó a jugar un papel especial en el registro y análisis de imágenes médicas, de tal forma que, en la actualidad, la mayoría de los equipos para estudios médicos son manejados por sistemas de cómputo (era digital). Además, el avance tecnológico ha permitido convertir señales no

visibles (como sonido, ultrasonido y temperatura, entre otras) en imágenes digitales que pueden ser mostradas durante procedimientos de exploración y cirugía, así como almacenadas en medios auxiliares como discos y memorias para ser estudiadas *a posteriori*.

Al inicio de la era digital, los aparatos para la captura de imágenes iniciaron con resoluciones relativamente bajas, entendiéndose por resolución el nivel de detalle de las imágenes capturadas. Sin embargo, para inicios del siglo XXI, los dispositivos aumentaron drásticamente su resolución, lo que ha permitido captar detalles que antes eran inimaginables. No obstante, este aumento de resolución creó la necesidad de desarrollar métodos computacionales que hagan más rápido y preciso su análisis. También es un reto la sistematización de procesos de reconocimiento automático de estructuras y patrones contenidos en las imágenes. Las computadoras son idóneas para estas tareas que resultan monótonas para el ser humano, ya que se pueden programar para realizar millones de tareas repetitivas por segundo. Así, es posible diseñar sistemas capaces de identificar texturas, colores de interés, formas específicas, en una imagen médica (morfología); estos sistemas pueden también encontrar relaciones entre los elementos que componen a las imágenes (correlaciones), o identificar y separar objetos (procesos de segmentación). Este es el caso del conteo automático de glóbulos rojos, blancos y plaquetas usando métodos auxiliares de tinción. Otra tarea interesante que hoy es posible gracias a los sistemas de cómputo es el estudio de secuencias de imágenes en el tiempo (video), las cuales permiten analizar la evolución de estructuras y procesos. Más aún, hoy es posible realizar estudios de secuencias espaciales, las cuales pueden ser obtenidas mediante técnicas de microscopía con luz clara, de resonancia magnética nuclear (RMN) o tomografía axial computarizada (TAC). Los datos generados en estos estudios pueden ser procesados computacionalmente, de tal forma que es posible la visualización y reconstrucción tridimensional de estructuras para su análisis por parte de los expertos. Estos son algunos ejemplos de éxito en donde la computación, a través de técnicas y algoritmos de procesamiento de imágenes y visión por computadora, ha influido decisivamente en la captura, visualización y análisis de imágenes médicas.

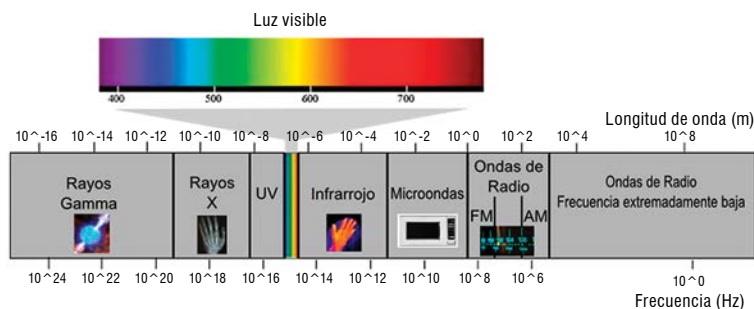


Figura 1. Espectro electromagnético de la luz.

EL ESPECTRO DE LUZ Y SU RELACIÓN CON LAS IMÁGENES

Una primera clasificación de las imágenes médicas consiste en agruparlas de acuerdo al rango de frecuencias en el espectro electromagnético que fue medido para generar la imagen,⁹ y que, a saber, puede pertenecer a alguna de las siguientes categorías: 1) rango visible, que es el rango de frecuencias electromagnéticas que el ojo humano es capaz de percibir, ubicadas entre 400 y 750 nanómetros (nm) de longitud de onda, y 2) rango no visible, que incluye frecuencias por debajo de los 400 nm y mayores a 750 nm (Figura 1).

Hasta el siglo XIX, las imágenes del cuerpo humano se obtenían a partir de la observación, lo cual las limitaba al espectro visible. Aunado a lo anterior, solo era posible generar imágenes de escenas macroscópicas, es decir, aquellas que por sus dimensiones físicas es posible detectar a simple vista. Sin embargo, gracias al avance tecnológico, hoy se cuenta con dispositivos capaces de obtener imágenes más allá de las limitantes de la visión humana, lo cual permite, entre otras muchas cosas, observar lesiones en huesos (imágenes de rayos X), identificar cáncer en la sangre (microscopía), el estudio de tumores (tomografías, resonancia magnética), el estudio del flujo sanguíneo (técnicas que emplean el efecto Doppler) o, incluso, generar imágenes a partir de ondas sonoras (ultrasonido).

RAYOS X

La era moderna de las imágenes médicas inicia en 1895, cuando el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubre, por medio de una serie de experimentos con electricidad de alto voltaje en tubos al vacío, que

ciertas radiaciones de energía hasta ese entonces desconocidas, eran capaces de atravesar materia de cierta densidad, y que este fenómeno podía ser evidenciado en imágenes capturadas en placas fotográficas mostrando la estructura interna de mayor densidad de la materia observada. A esas radiaciones desconocidas las denominó rayos X,^{9,10} y rápidamente se convirtieron en una herramienta poderosa en el sector médico.

Desde un punto de vista muy simple, los rayos X son ondas de luz no visible que se encuentran en el rango 10 a 0.01 nm de longitud de onda. Estas ondas de luz son capaces de atravesar objetos de poca densidad, como los tejidos musculares del cuerpo humano, pero a su vez son absorbidas con facilidad por objetos de mayor densidad, como metales o los huesos humanos. Esta diferencia de energía puede ser capturada empleando placas fotográficas específicamente preparadas para detectar las longitudes de onda de los rayos X, lo que permite generar imágenes de la estructura interna del cuerpo humano si este es colocado entre una fuente emisora de rayos X y una placa fotográfica.¹¹ Por lo anterior, esta técnica es mínimamente invasiva (no se requieren cortes para exponer la estructura interna, pero sí una exposición a los rayos X). Durante el siglo XX, las imágenes generadas a partir de rayos X se basaron en una tecnología analógica (fuente de emisión de rayos X + placa fotográfica para capturar las imágenes generadas). Sin embargo, para 1973, George Luckey, de la compañía Kodak, presentó una solicitud de patente para capturar imágenes de rayos X basadas en fotosensores, los cuales sustituían a la placa fotográfica tradicional para la captura de la imagen.¹² Fue

entonces cuando aparece la era digital en la radiografía, conocida como Radiografía Computarizada (CR por sus siglas en inglés). En 1983, la compañía japonesa Fuji presenta el primer sistema CR comercial.

Desde entonces, se han desarrollado nuevos sistemas CR (variando la energía utilizada en los rayos X e incorporando nuevos sensores) que son capaces de generar imágenes ya no solo de estructuras óseas, sino de otros tejidos para diferentes tipos de estudios.⁹ Ejemplo de ello son los estudios de mamografías, donde se usan los rayos X para la detección de microcalcificaciones que tienen una densidad diferente con respecto al tejido adiposo que lo rodea. La tomografía helicoidal ha sido otro gran avance tecnológico, ya que permite generar imágenes a manera de rebanadas milimétricas, las cuales a partir de un procesamiento computacional, permiten generar imágenes tridimensionales.^{9,13} Otro caso de éxito es la obtención de imágenes en tiempo real de las estructuras internas del cuerpo humano a través de la fluoroscopia, donde los rayos X son utilizados para generar las imágenes. Esto resulta especialmente útil para identificar problemas de circulación sanguínea, anomalías intestinales, entre otros.

No hay duda que los rayos X en conjunto con las técnicas computacionales actuales han impactado positivamente el diagnóstico de alteraciones en el cuerpo humano, tanto en tiempo de diagnóstico (en pocos segundos es posible ver las imágenes obtenidas e incluso, en algunos casos, en tiempo real) como en precisión (las imágenes que se obtienen cada vez son de mayor nitidez, mostrando con mayor detalle la alteración estudiada, disminuyendo con ello el factor subjetivo de la interpretación médica). A pesar de los éxitos obtenidos, existen retos importantes en los que aún es necesario trabajar. Entre los más destacables se encuentra el tiempo de exposición a los rayos X, ya que a pesar de ser una técnica no invasiva, es sabido que estos rayos generan alteraciones graves a un organismo vivo cuando este se expone a periodos largos de radiación. Por ello, hoy en día se desarrollan investigaciones en el área de la electrónica y la computación en las que se busca diseñar sistemas que

disminuyan el tiempo de exposición de un paciente y, al mismo tiempo, generar imágenes con mayor nitidez y resolución (a través de técnicas computacionales de procesamiento digital de imágenes), lo que permite obtener diagnósticos más certeros. Aunado a lo anterior, gracias a técnicas computacionales de aprendizaje automático y minería de datos, se están diseñando sistemas de apoyo al diagnóstico médico capaces de analizar imágenes de rayos X para generar un posible diagnóstico.^{17,18,19}

IMÁGENES MÉDICAS BASADAS EN LUZ VISIBLE

Las imágenes médicas basadas en luz visible, como su nombre lo indica, se obtienen a partir de capturar en un medio analógico o digital, un haz de luz en el rango visible (Figura 2). Con la aparición de la primera cámara fotográfica, se inició la era en la cual se empezó a crear registros históricos de casos clínicos en diferentes ramas de la medicina, como la dermatología, odontología, estudios de la anatomía humana, así como en aspectos académicos.

La tecnología analógica fue la primera en ser explotada en el sector salud, donde a partir de una cámara analógica con rollo fotosensible, se podían obtener imágenes de los casos de interés. Este procedimiento tuvo sus desventajas, ya que por las dimensiones de las primeras cámaras fotográficas solo se podían capturar fotografías de partes exteriores del cuerpo humano. Sin embargo, con el avance de la tecnología llegó

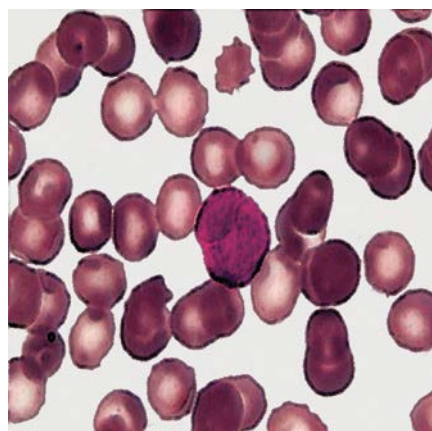


Figura 2. Ejemplo de imagen de leucemia aguda tomada con un microscopio óptico a un aumento de 100X. (Capturada por Iván Olmos en microscopio óptico).

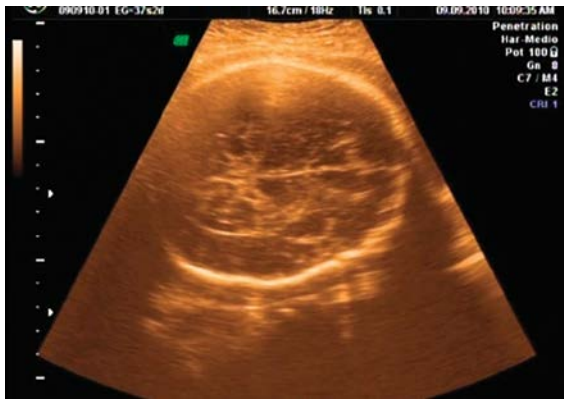


Figura 3. Imágenes captadas mediante ultrasonido que muestran la morfología del cráneo y cuerpo de un feto humano con 32 semanas de gestación (imagen proporcionada por Arturo Olvera).

la digitalización (y, como consecuencia, la miniaturización de dispositivos), con lo cual fue posible tomar fotografías del cuerpo humano que antes no eran accesibles (endoscopía, colposcopía, por ejemplo) e incluso visualizar y fotografiar a nivel microscópico diferentes aspectos del cuerpo humano, como tejidos, células, entre otros. Por ejemplo, en el área de hematología es posible realizar un estudio morfológico de las condiciones de un paciente a partir de imágenes de frotis de sangre tomadas con un microscopio óptico (Figura 2).

La era digital ha sido un parteaguas en las imágenes médicas basadas en luz visible: en primera instancia podemos citar que gracias a la rapidez con la cual las cámaras digitales registran y muestran el resultado, muchos diagnósticos pasaron de esperar horas o incluso días, a solo segundos o minutos. Una fotografía digital permite realizar análisis más detallados de las imágenes, utilizando herramientas computacionales que incluyen desde una ampliación digital (*zoom*), hasta herramientas especializadas de análisis para identificar patrones. Con ello, es posible aumentar la precisión en los diagnósticos. Por otro lado, gracias a la flexibilidad que existe para almacenar las imágenes en sistemas de cómputo, hoy en día se han creado grandes repositorios de imágenes médicas (en bases de datos, en expedientes clínicos electrónicos, en la web), donde los expertos pueden compartir conocimiento y puntos de vista sobre casos clínicos a partir del análisis de las mismas imágenes, cosa que en la era analógica no era posible.

ULTRASONIDO

Mediante esta técnica mínimamente invasiva se obtienen imágenes reconstruidas a partir del sonido. Los dispositivos para llevar a cabo la exploración del paciente están básicamente constituidos por un transductor ultrasónico, el cual emite ondas sonoras de alta frecuencias (1-20 MHz) y, por tanto, no audibles para los humanos (el rango audible en el humano es de 20 Hz a 20 KHz), pero que fácilmente penetran la piel. Para reconstruir las imágenes de la zona explorada, el transductor también tiene un receptor de ondas sonoras que registra la velocidad con la cual las ondas sonoras rebotan de acuerdo a la composición de la región; es decir, los tejidos blandos, huesos y agua dentro del cuerpo rebotan el sonido a distintas velocidades.⁹ Para que las ondas sonoras puedan conducirse al interior, se aplica al paciente un gel cutáneo cuya composición fundamental es de agua. En este contexto, es posible reconstruir una imagen de acuerdo con la información registrada en el receptor (Figura 3). Nótese que, bajo este concepto, las imágenes obtenidas con el ultrasonido no son reales, sino que se despliegan y estiman de manera visual los distintos tejidos blandos o rígidos. Esto solo es posible gracias a los sistemas de cómputo, ya que los lectores ultrasónicos proporcionan como salida datos numéricos (distancias/tiempos de rebote de las ondas ultrasónicas) los cuales, para ser fácilmente interpretados por un humano, son procesados a través

de un sistema computacional y, por medio de diferentes técnicas, son transformados en imágenes. Este tipo de imágenes suelen ser útiles para diagnosticar diversos procesos que involucran a la pelvis, el abdomen y diversas condiciones obstétricas (inspección y análisis de feto). Una variante del ultrasonido es la técnica basada en el efecto Doppler, la cual es análoga al ultrasonido, pero se aplica a fluidos en movimiento, en particular a la sangre y, por tanto, al diagnóstico de enfermedades cardíacas.

RESONANCIA MAGNÉTICA (RM)

Las imágenes capturadas con este tipo de estudio no invasivo se basan en la obtención de información descriptiva del interior del cuerpo humano mediante el magnetismo y el uso de radio frecuencias (ondas con frecuencias en el rango 200 MHz-2 GHz) las cuales “hacen resonar” los núcleos atómicos. Esta técnica surgió en 1969 y fue desarrollada por Raymond Vahan Damadian.

El proceso para obtener la imagen es el siguiente: se aplica magnetismo alrededor del paciente mediante un imán circular potente (1.5 Tesla) con el objetivo de forzar la alineación de los protones de los átomos de hidrógeno en los tejidos del interior del cuerpo; cuando estos protones regresan a su posición original liberan energía y generan radio frecuencias que son registradas mediante un receptor. Estas frecuencias proporcionan información acerca de la estructura de los tejidos y, por tanto, se lleva a cabo una reconstrucción del interior del cuerpo mediante el análisis espectral de las mismas (Figura 4). Cuando el cuerpo del paciente se analiza de pies a cabeza, es posible obtener información detallada de los tejidos interiores en cortes transversales sin dividir realmente en rebanadas al cuerpo humano.

Comúnmente, las imágenes analizadas mediante RM permiten llevar a cabo diagnósticos relacionados con neurología, cardiología, sistema vascular, abdomen, entre otros.¹⁵ El beneficio de la imagenología con RM respecta a la precisión y rapidez con la que se llevan a cabo los diagnósticos; por ejemplo, en el área de la neurología se requiere una visualización exacta y detallada como



Figura 4. Reconstrucción del interior de una rodilla humana mediante resonancia magnética (imagen proporcionada por Arturo Olivera).

paso previo a la ablación quirúrgica de tumores. De no existir este tipo de técnicas de visualización, los procedimientos quirúrgicos serían intervenciones con una alta probabilidad de error que impactaría en consecuencias irreversibles para los pacientes.

TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES

Este tipo de tomografía invasiva, también conocida como PET (*Positron Emission Tomography*), surge en la década de 1950 con el trabajo pionero de David Edmund Kuhl. La técnica PET consiste en detectar contrastes en el interior del cuerpo humano mediante la aplicación intravenosa de fármacos (llamados “marcadores”) que contienen positrones (también conocidos como antielectrones, pues tienen carga opuesta a los electrones). Dependiendo del tipo de marcadores suministrados, estos tienen una vida útil que puede ser desde 2 hasta 120 minutos. Para obtener la imagen del interior del cuerpo se inyecta un marcador al paciente en cuyo alrededor se coloca un anillo detector de rayos gamma.

Cuando el marcador se extiende en la zona de interés, a nivel molecular se presenta una interacción entre los positrones introducidos y los electrones en el interior de los tejidos del cuerpo del paciente; como resultado de esta interacción se liberan rayos gamma que son registrados por el anillo detector. Suele utilizarse como marcador la Fluoro-Deoxy-Glucosa (FDG), que es similar a la glucosa, pero el flúor que contiene se convierte en un isótopo radioactivo emisor de positrones. La FDG se emplea debido a que facilita el contraste en la imagen obtenida, ya que las zonas anormales

(no sanas) en el interior del cuerpo absorben más rápido la glucosa y, como consecuencia, la emisión de rayos gamma es notablemente distinta a la de las zonas sanas. Después de registrar todos los rayos gamma, se crea la imagen asignando a esta distintos colores de acuerdo con la cantidad de rayos gamma emitidos, obteniéndose de manera visible un contraste de las zonas anormales en el cuerpo (por ejemplo, la menor intensidad de rayos gamma se representa en colores azules, mientras que la mayor emisión de rayos gamma se representa con otros colores, ver Figura 5). La técnica PET es comúnmente utilizada en oncología.¹⁵

Una de las aplicaciones recientes de PET respecta a los tratamientos de cáncer pulmonar, en particular la detección de nódulos malignos.²⁰ Para detectar este tipo de nódulos, el especialista debe analizar aproximadamente 1,000 imágenes PET, lo cual no es humanamente posible en un tiempo razonable, y por ello los médicos se auxilian del procesamiento computacional para el análisis y reconstrucción 3D. Cada imagen de la región pulmonar se procesa digitalmente para detectar regiones de alto contraste con un diámetro de al menos 13.7 milímetros. Este contraste es resultado de la alta cantidad de consumo de glucosa por los nódulos en el pulmón. De esta manera, el proceso de diagnóstico requiere un menor tiempo si se compara con el que tomaría a un médico analizar el total de imágenes.

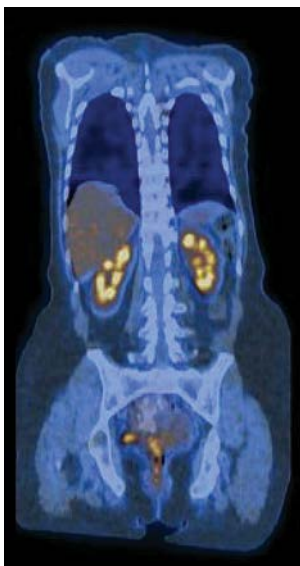


Figura 5. Vista anteroposterior de un torso humano mediante PET, con énfasis en los riñones.¹⁶

En lo referente a herramientas de *software* para visualización y reconstrucción de imágenes médicas, desde finales del siglo XX existe una evolución en estos programas computacionales y actualmente es posible tener acceso libre a herramientas de este tipo. Por ejemplo, el programa 3D-Slicer²¹ es de adquisición libre (su licencia no requiere ningún gasto económico) y proporciona una amplia gama de implementación de algoritmos para la visualización y reconstrucción de imágenes digitales médicas.

TERMOGRAFÍA

Esta técnica no invasiva consiste en realizar una inspección en términos de la temperatura, es decir, analiza las distintas temperaturas en la zona de interés generando imágenes térmicas.

Para llevar a cabo la captura de imágenes se utilizan cámaras térmicas (también llamadas cámaras termográficas o termógrafos), que son dispositivos que almacenan la temperatura de una escena a manera de imagen. Estas cámaras suelen operar en la banda infrarroja (ondas electromagnéticas no visibles para el humano) debido a que la temperatura es energía irradiada por los objetos en esta banda. Los sensores de este tipo de cámaras captan de manera precisa esta energía y, por tanto, registran la temperatura en una escena; la temperatura se visualiza a manera de imágenes asignando una escala de color que contempla desde los valores (colores) más bajos hasta los más altos de temperatura; en este contexto, cada píxel en la imagen respecta un valor de temperatura. Por ejemplo, al considerar los distintos colores en la escala azul-rojo, las zonas más cálidas son cercanas al rojo, mientras que las más frías son cercanas al azul (Figura 6). En el ámbito médico puede llevarse a cabo un diagnóstico mediante una imagen térmica ya que, en ciertas enfermedades, los órganos del cuerpo emiten una temperatura distinta respecto a la de los órganos sanos, lo cual es fácilmente distinguible por el médico al analizar una imagen térmica. Un caso particular en el que se aplica el análisis de imágenes térmicas es para la detección de cáncer de mama.²² Para analizar la región de las zonas afectadas, se efectúa un

procedimiento de detección (en coordenadas polares) de posibles zonas circulares con radio específico en las que el calor se concentra y, por tanto, pueden considerarse como regiones anormales e indicativas para el especialista. En este tipo no invasivo de diagnóstico, los pacientes son particularmente beneficiados en términos del mínimo tiempo requerido para el análisis médico y del nulo grado de incomodidad y dolor que, en comparación, suele presentarse en los estudios típicos de mastografía.

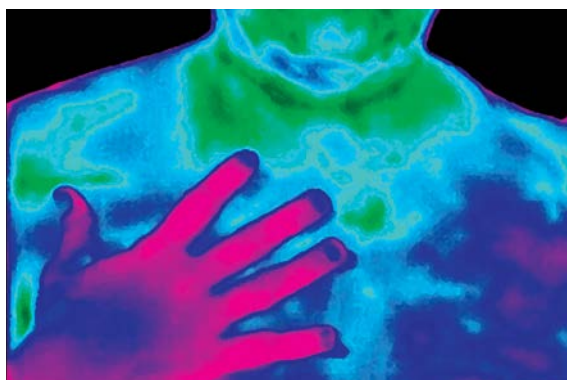


Figura 6. Imagen térmica en la que los distintos colores respectan a variaciones de la temperatura corporal (imagen proporcionada por Arturo Olvera).

TENDENCIAS

La actual era tecnológica hace posible transmitir imágenes digitales a través de redes de comunicación y utilizarlas en esquemas que se denominan teleradiológico y telecirugía, los cuales son partes de la telemedicina. Así, es posible analizar visualmente, de manera remota, imágenes médicas e incluso proporcionar un diagnóstico sin necesariamente contar con la presencia física del paciente. En el campo de la cirugía, y gracias al avance de áreas como la computación y la robótica, se pueden utilizar mecanismos (robots) que mediante métodos de visión computacional funcionen como asistentes para los cirujanos en procedimientos específicos con precisión milimétrica, tales como las cirugías cerebrales. En general, esta unión de esfuerzos tecnológicos beneficia la calidad de vida de los pacientes y mejora los procedimientos (tanto en tiempo como en calidad) de diagnóstico, cirugía y, en general, diversos procedimientos y protocolos médicos.^{8,9}

REFERENCIAS

- 1 Porter R (1997). *The Greatest Benefit to Mankind: A Medical History of Humanity from Antiquity to the Present*. Harper Collins (pp. 49-50).
- 2 Gillispie CC (1972). *Dictionary of Scientific Biography VI*. New York: Charles Scribner's Sons. (pp. 419-427).
- 3 Lang P (2013). *Medicine and Society in Ptolemaic Egypt*. Brill NV (p. 256).
- 4 University of Virginia. Alexandrian Medicine. *Antiqua Medicina—from Homer to Vesalius*. Retrieved 12 November 2014. <http://exhibits.hsl.virginia.edu/antiqua/alexandrian>.
- 5 Encyclopedia Britannica. *Microscopic anatomy*. Retrieved 14 October 2014. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/22980/anatomy/283/Microscopic-anatomy>.
- 6 Berengario da Carpi J (1535). *Anatomia Carpi Isagoge breves perlucide ac uberrime, in Anatomiam humani corpori*. Retrieved 4 November 2014. <https://ia902504.us.archive.org/13/items/2222036R.nlm.nih.gov/2222036R.pdf>.
- 7 Vesalius A (1543). *De Humani corporis fabrica Librisepstem*. Retrieved 4 November 2014. <http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-20094>.
- 8 Fox SI (1998). *Human Physiology*. Student Online Learning Center, McGraw Hill Higher Education, 6th online edition. Retrieved 4 October 2014. <http://www.mhhe.com/biosci/ap/foxhumpys/student/olc/h-reading1.html>.
- 9 Dougherty G (2009). *Digital Image Processing for Medical Applications*. Cambridge University Press. 1st Ed.
- 10 Preim B and Bartz D (2007). *Visualization in Medicine: Theory, algorithms, and applications*. The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Elsevier, 1st Ed.
- 11 Gonzalez RC and Woods RE (2008). *Digital Image Processing*. 3th Ed. Prentice Hall.
- 12 (2005) *Kodak continues its computed Radiography Innovations*. Technical Report, Eastman Kodak Company. http://www.kodak.com/eknec/documents/3e/0900688a8047c13e/CR_history.pdf.
- 13 Feng D (2008). *Biomedical Information Technology*. Elsevier.
- 14 Wright T (1999). *Manual de Fotografía*. Ediciones Akal.
- 15 Guy C and Fyftche D (2005). *Introduction to the Principles of Medical Imaging*. Imperial College Press.
- 16 Normal and Benign Pathologic Findings in 18 FDG-PET and PET/CT, *An Interactive Web Based Image Atlas*. Harvard Medical School, Retrieved 12 november 2014. <http://www.med.harvard.edu/JPNM/chetan/normals/kidneys/case.html>.
- 17 Shim J, Park K, Ko B and Nam J (2009). *X-Ray image classification and retrieval using ensemble combination of visual descriptors*. In *Advances in Image and Video Technology*, Springer Berlin Heidelberg (pp. 738-747).
- 18 Wang X (1997). *Log classification by single X-ray scans using texture features from growth rings*. In *Computer Vision-ACCV'98*, Springer Berlin Heidelberg (pp. 129-136).
- 19 Zare MR, Mueen A and Seng WC (2014). Automatic Medical X-ray Image Classification using Annotation. *Journal of digital imaging* 27:77-89.
- 20 Atsushi T, Hiroshi F, Katsuaki T, Osamu Y, Tsuneo T and Masami N (2014). Hybrid method for the detection of pulmonary nodules using positron emission tomography/computed tomography: a preliminary study. *International journal of computer assisted radiology and surgery* 9:59-69.
- 21 Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S and Kininis R (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic resonance imaging* 30:1323-1341.
- 22 Han F, Shi G, Liang C, Wang L and Li K (2014). *A Simple and Efficient Method for Breast Cancer Diagnosis Based on Infrared Thermal Imaging*. *Cell biochemistry and biophysics* (pp. 1-8).

Manuel Martín Ortiz
Iván Olmos Pineda
Arturo Olvera López
[mmartin, iolmos, aolvera]@cs.buap.mx
Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla