



**PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICO DE HERRAMIENTAS
COMPUTACIONALES FUSIONADAS DE IMÁGENES SPECT-TC MATLAB
ÁREA MEDICINA NUCLEAR CONVENCIONAL HCAM**

AUTORES:

Miriam Cecilia Borja Saavedra *

Angelita Genoveva Tapia Bonifaz **

Lourdes Emperatriz Paredes Castelo***

David Israel Martínez Cruz ****

mc_borja@esPOCH.edu.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Miriam Cecilia Borja Saavedra, Angelita Genoveva Tapia Bonifaz, Lourdes Emperatriz Paredes Castelo y David Israel Martínez Cruz (2019): "Planificación estratégico de herramientas computacionales fusionadas de imágenes SPECT-TC MATLAB área medicina nuclear convencional HCAM", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (mayo 2019). En línea

<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/herramientas-computacionales.html>

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue desarrollar una herramienta de fusión de imágenes médicas SPECT/TC. Para este estudio se elaboró una interfaz gráfica GUI en el entorno Matlab de fácil y amigable manejo, para ello se implementó una serie de algoritmos útiles en la fusión de imagen. Se usó pares de imágenes procedentes de tecnologías radiológicas distintas y relativas a un mismo paciente. Las conclusiones en base a los resultados obtenidos colaboran en el camino hacia la definición del mejor algoritmo de fusión posible que pueda definir la más óptima detección de patologías en pacientes. El objetivo principal es estar a la par con la evolución de la tecnología, y así permitir a los radiólogos o médicos de diagnóstico dar una mejor definición de la patología presentada.

PALABRAS CLAVES: PLANIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES
FUSIONADAS SPECT-TC MATLAB

ABSTRACT

The objective of this research work was to develop a SPECT / TC medical image fusion tool. For this study a GUI graphical interface was developed in the Matlab environment of easy and friendly handling, for this a series of algorithms useful in image fusion was implemented. We used pairs of images from different radiological technologies related to the same patient. The conclusions based on the obtained results collaborate in the way towards the definition of the best possible fusion algorithm that can define the most optimal detection of pathologies in patients. The main objective is to be on par with the evolution of technology, and thus allow radiologists or diagnostic doctors to give a better definition of the presented pathology.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Área de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín funciona se realiza diagnósticos de enfermedades de tipo cardíacas, oncológicas y neuronales. Los equipos de la esta unidad asisten al médico especialista en el diagnóstico de diferentes y variadas enfermedades como, tumores benignos y malignos, afecciones cardíacas, diagnóstico temprano de trastornos neurológicos y enfermedades neurológicas degenerativas.

Todos los estudios que en la unidad se Medicina Nuclear se realizar tienen un importante rol en la sociedad, ya que pertenece a la red del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). Los equipos utilizados en la unidad son de valiosa adquisición, pero tienen limitaciones al momento de realizar interpretaciones diagnósticas. La tecnología de procesamiento de imágenes médicas ha crecido enormemente en términos de aplicaciones. Una de ellas es la Fusión de Imágenes Médicas de distinta modalidad de adquisición para crear imágenes surrealistas (no reales), que imita la calidad de un equipo de última generación como son los equipos híbridos que ya tienen incorporado dichas funciones.

Con esto nace la necesidad de implementar una herramienta para la fusión de imágenes de los equipos que se tienen dentro del Área de Medicina Nuclear Convencional, la cual colaborará en el diagnóstico de distintas enfermedades que se pueden presentar en el Hospital Carlos Andrade Marín. Esta herramienta se vuelve una prioridad por la gran demanda de pacientes que se atiende a diario en esta Área.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Inicios del diagnóstico por imagen

La imagen médica es calificada como la técnica en la cual se afirma la medicina para generar imágenes de la fisiología y morfología humana, de manera parcial o general, con el único objetivo de emplearse en el área de la exploración médica, para poder puntualizar el

funcionamiento del organismo humano y sus investigaciones de forma más inexorable, o bien como una herramienta de diagnóstico clínico.

El profesor Wilhelm Konrad Roentgen, catedrático de la Universidad de Wurzburg, Alemania, descubrió los rayos X en 1895. La trascendencia que desde esa época adquirió el estudio de los rayos X queda de manifiesto por el hecho de que seis hombres de ciencia recibieron el Premio Nobel por investigaciones en este campo, desde de que el mismo Roentgen fuera galardonado con el primer Premio Nobel en Física en 1901. Así mismo, analizó los rayos catódicos y se interesó especialmente en la fluorescencia, creó un ambiente de oscuridad en una habitación y envolvió el tubo de rayos catódicos en un cartón negro. Después activo ese tubo y descubrió un rayo de luz que no salía del tubo. A cierta distancia de este tubo descubrió que en una hoja de papel cubierta de cianuro de platino era la que resplandecía. Por lo tanto, Roentgen determinó que los rayos catódicos creaban una especie de radiación muy penetrante y fuerte, pero invisible, más tarde pudo afirmar que la radiación atravesaba gruesas capas de papel e incluso metal. Este físico dio el nombre de rayos X a este descubrimiento, pues desconocía la naturaleza de la radiación. (FIGUERO & , 2007, pp. 49-50)

Becquerel, quien conocía los trabajos de Wilhelm Konrad Roentgen, se interesó en investigar la relación entre la fosforescencia producida por los rayos X de Roentgen y la producida por la radioactividad. En 1896, casi accidentalmente, hizo un importante descubrimiento; encontró que la fluorescencia y la producción de rayos X se interrumpen inmediatamente cuando la energía externa excitante se detiene, sin embargo, la fosforescencia permanece por cierto tiempo después de suprimir la excitación. Un día nublado de 1896, Becquerel no pudo emplear la energía solar como fuente externa, así que decidió guardar las placas fotográficas en una gaveta donde también guardaba cristales que contenían uranio. Días después, para su sorpresa, encontró que las placas estaban veladas; habían sido expuestas a unas emisiones misteriosas provenientes del uranio, pero notó que las emisiones no necesitaban la presencia de fuentes externas de energía; los cristales de uranio emitían rayos por sí solos, espontáneamente. Este pequeño incidente permitió descubrir la radioactividad, descubrimiento que abrió caminos a la ciencia moderna. (TUCCI, 2012, pp. 48-50)

Posteriormente los esposos Curie dedicaron su vida a la investigación relacionada con la radioactividad y lograron establecer algunas de las propiedades de los materiales radioactivos. Marie nació en Varsovia y para poder continuar sus estudios, a la edad de 24 años tuvo que trasladarse a París donde logró obtener una Maestría en Física y Matemáticas en sólo 3 años. Por sus méritos, un grupo de industriales le otorgó una beca para que investigara las propiedades magnéticas de diferentes tipos de acero. A fin de llevar a cabo su trabajo, Marie se trasladó a un laboratorio donde trabajaba Pierre Curie, su futuro esposo, quien realizaba investigaciones relacionadas con el magnetismo y las propiedades de ciertos cristales. Marie y Pierre trabajaron juntos y se casaron en 1895. Por los importantes descubrimientos de Roentgen y Becquerel, Marie decidió investigar los rayos provenientes del uranio. Comenzó

con compuestos químicos que contenían uranio, y pronto determinó que la intensidad de los rayos dependía exclusivamente de la cantidad de uranio presente en el compuesto, y no de otras características como su estado sólido o líquido o su pureza. La intensidad de los rayos pudo ser medida gracias a que Becquerel ya había notado que las emanaciones provenientes del uranio hacían que el aire se volviera conductor de la electricidad, es decir, se ionizaba. La cantidad de iones que se producía en un volumen de aire era proporcional a la intensidad de las radiaciones. Utilizando el electroscoPIO, un instrumento muy sensible que permite detectar la presencia de carga eléctrica creado por el científico inglés William Gilbert (1544-1603), midió las emanaciones provenientes de varias sustancias capaces de alterar la conductividad del aire. (TUCCI, 2012, pp. 48-50)

Los científicos de la época afirmaban que los átomos se habían creado al principio de los tiempos, no cambiaban ni era posible cambiarlos. Marie dudaba de tal afirmación, sospechaba que algo pasaba dentro del átomo de uranio cuando se producían los rayos. Ensayando con otros elementos, descubrió que el torio, un elemento sumamente raro, también producía radiaciones. Después de un arduo trabajo, los Curie lograron aislar e identificar además otro elemento, el radio. Para describir el comportamiento del polonio y el radio, Marie creó el término radiactividad o radioactividad. También encontró que la tasa de emisión de radiaciones disminuía con el tiempo y que dicha disminución podía calcularse y predecirse. Pero su mayor logro fue comprender que la radiactividad es una propiedad del átomo y no una emanación separada e independiente. A pesar de el gran avance aportado por los esposos Curie, los científicos de la época no conocían la estructura del átomo, tuvieron que esperar por los trabajos realizados por muchos otros, entre los que se destaca Ernest Rutherford. (TUCCI, 2012, pp. 48-50)

Como los Rayos X producen daños en los tejidos biológicos, el desarrollo tecnológico en imagenología médica ha estado orientado a la búsqueda de otros procedimientos, que permitan el diagnóstico médico haciendo uso de imágenes obtenidas con la cantidad mínima de radiación ionizante o, de ser posible, sin ella. Así surgieron la Tomografía Computarizada (TC), el Ultrasonido, la Resonancia Magnética (RM), la Medicina Nuclear, la Magnetoencefalografía, la Tomografía por impedancia Eléctrica y otros procedimientos que seguirán siendo propuestos por los laboratorios de investigación, universidades y empresas. A todos estos procedimientos se les engloba hoy en día bajo el término de Imagenología Médica. (MORA & PASSARIELLO, 2005, p. 1)

Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es una propagación ondulatoria de energía eléctrica y magnética cuyas intensidades varían en planos perpendiculares. Todas tienen la misma velocidad en el vacío ($c = 300.000$ km/segundos), diferenciándose por las diferentes longitudes de onda o

frecuencia, de la que depende su energía. Entre las radiaciones electromagnéticas tenemos la radiación ionizante que pueden ser Rayos Gamma o Rayos X. (ORNELAS, 2009, p. 3)

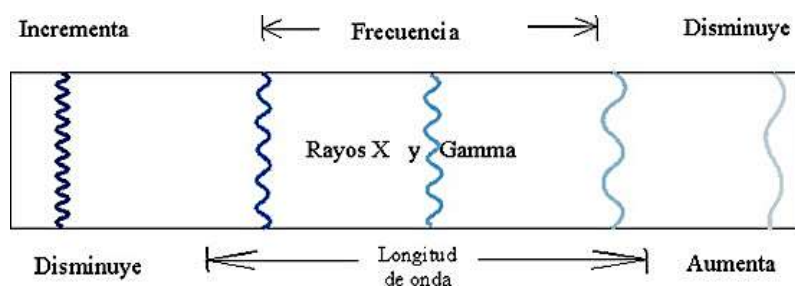


Figura 0-1: Frecuencia y Longitud de onda de Rayos x y Rayos gamma
Fuente: David Martínez 2017

La radiación ionizante se trata de la capacidad de introducir una carga neta dentro de un átomo neutro. La ionización es el proceso por el cual se arranca un electrón de un átomo. El conjunto formado por el electrón libre y el átomo con carga positiva resultante se denomina par iónico. Si un átomo recibe un aporte energético suficiente es posible separar de él uno o varios electrones, quedando entonces el átomo eléctricamente descompensado, su número de cargas positivas es superior al de las negativas, y constituye un átomo ionizado, o más precisamente un ión positivo. El fenómeno constituye la ionización atómica que también puede deberse a un aporte de electrones al átomo, aunque en este caso se originaría su ionización negativa y se transformaría en un ión negativo. Los iones atómicos suelen ser muy reactivos y tienden a recuperar su estabilidad mediante la captura de cargas libres o mediante su unión a otros átomos dando lugar a compuestos químicos. Cuando la energía aportada no resulta suficiente para arrancar electrones del átomo, puede serlo para desplazar electrones desde capas internas completas hasta otras más externas incompletas, creándose así huecos en las primeras. Se dice entonces que el átomo está excitado, y el fenómeno se llama excitación atómica. Estos huecos internos son ocupados espontáneamente por electrones más externos, que caen de un nivel de energía a otro más bajo, emitiéndose al exterior la diferencia. La excitación del átomo también puede producirse a nivel de su núcleo por variación de la energía nuclear. Análogamente, la excitación nuclear se resuelve también con la emisión espontánea de energía, de forma más o menos compleja y con la participación o no de la corteza electrónica. El fenómeno atómico que se produce en las ionizaciones es el siguiente: durante la absorción de energía, se van a producir saltos electrónicos, entre las distintas capas, hasta la salida definitiva de un electrón del átomo. Las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en ondas electromagnéticas y corpusculares. Las electromagnéticas son, rayos X, rayos γ (gamma) y rayos UV, y las corpusculares las cuales son aquellas con masa y energía suficiente de ionización donde se puede destacar las siguientes partículas: α , β^- , β^+ , n, p, etc... (ORNELAS, 2009, pp. 4-5)

Radiaciones gamma (γ)

La radiación gamma es un flujo de ondas electromagnéticas de alta energía. Las radiaciones gamma suelen tener su origen en el núcleo excitado. A menudo, tras emitir una partícula alfa o beta, el núcleo tiene todavía un exceso de energía, que elimina en forma de ondas electromagnéticas de elevada frecuencia. Cuando un núcleo excitado emite esta radiación no varía ni su masa ni su número atómico, solo pierde una cantidad de energía proporcional a la frecuencia de la radiación emitida. Es una radiación de naturaleza electromagnética, capaz de ser producida por materiales radiactivos como el Tecnecio⁹⁹ ó el Cobalto⁶⁰ utilizados en Medicina Nuclear tanto en el diagnóstico como en el tratamiento, y el Cesio 137 que se usa sobre todo para la calibración de instrumentos de medición de radiactividad. Como todas las demás formas de radiación electromagnética, estas ondas no tienen masa ni carga, e interaccionan con la materia colisionando con las capas electrónicas de los átomos con los que se cruzan, perdiendo lentamente su energía, por lo que pueden atravesar grandes distancias. Debido a su pequeña longitud de onda, tiene un gran poder de penetración, siendo capaz de atravesar cientos de metros en el aire, el cuerpo humano y las materias de poca densidad, así como láminas de acero de hasta 10 cm de espesor y son detenidas solamente por capas grandes de hormigón, plomo (espesores de 12 mm), o agua. Frente a su alto poder de penetración, posee menor capacidad de ionización que las partículas alfa y beta. (ORNELAS, 2009, p. 6)

El Radioisótopo más utilizado para la producción de rayos gamma para el diagnóstico en medicina nuclear es el tecnecio 99m. Es un isótopo trazador radiactivo y la energía de sus rayos gamma es aproximadamente de 140 keV, es adecuada para la detección. El hecho de que tanto su semivida física como su semivida biológica sean muy cortas, conduce a una eliminación muy rápida del cuerpo, después de un proceso de formación de imágenes. Una ventaja adicional es que el rayo gamma es de simple energía, sin acompañamiento de emisión beta, y eso permite una alineación más precisa de los detectores de imágenes. El tecnecio-99m se produce mediante el bombardeo del molibdeno 98Mo, con neutrones. El 99Mo resultante, decae con una semivida de 66 horas, a un estado metaestable de Tc. Este proceso permite la producción de 99mTc para fines médicos. Como el 99Mo es un producto de fisión del 235U, se puede separar de los otros productos de la fisión, y usarse para generar 99mTc. Para fines médicos, el 99mTc se usa en la forma de pertechnetato, TcO_4^- . El isótopo tecnecio 99mTc es inusual, ya que tiene una vida media de emisión gamma de 6,03 horas. Esto es muy largo para un decaimiento electromagnético lo más típico son 10-16 segundos-. Con tal larga semivida para el estado excitado que conduce a este decaimiento, este estado se denomina estado metaestable, y esa es la razón para designarlo 99m. (HYPERPHYSICS, 2000)

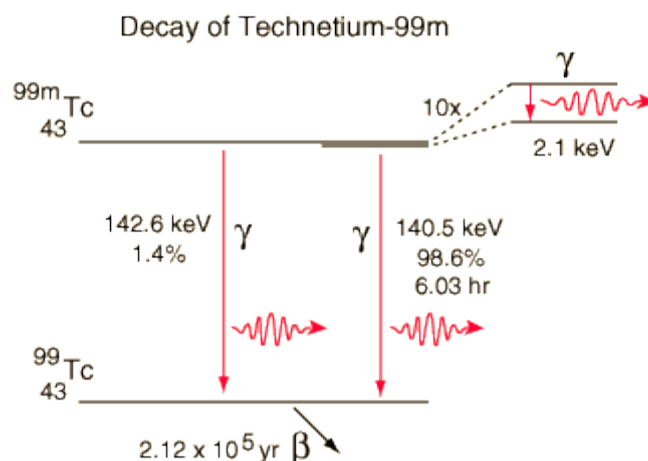


Figura 0-2: Decaimiento del radioisótopo Tc99m
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/imgnuc/tc99m.gif>

Rayos X

Los Rayos X fueron descubiertos en 1895 por Roentgen, y fueron el primer ejemplo conocido de radiación ionizante de naturaleza electromagnética. Los Rayos X se producen por el choque contra la materia de electrones acelerados a gran velocidad. En cualquier aparato de Rayos X existe un cátodo emisor de electrones y un ánodo conectado a un potencial fuertemente positivo respecto al cátodo, que atrae a los electrones y que les sirve de blanco contra el que éstos chocan. En general, en los tubos de rayos X actuales, se emplea tungsteno como cátodo, y se ha conseguido una modulación muy fina de la energía de las radiaciones emitidas, y, por tanto, de su penetración, a fin de conseguir imágenes más definidas. Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta, que se propagan en línea recta y a la velocidad de la luz. Tiene gran capacidad de penetración, por lo que se utilizan para obtener imágenes para el diagnóstico. Su poder ionizante es débil, aunque esto no quiere decir que en determinadas circunstancias no puedan causar lesiones. Los Rayos X constituyen el Principal riesgo de irradiación por vía externa, produciéndose en los generadores de radiodiagnóstico (aparatos de Rayos X), en los microscopios electrónicos, en los tubos catódicos de los televisores, etc. Los rayos X no se olfatean, no se oyen y no se sienten. Al colisionar con la materia producen distintos tipos de efectos; entre los principales están la ionización y la Fluorescencia. (ORNELAS, 2009, p. 7)

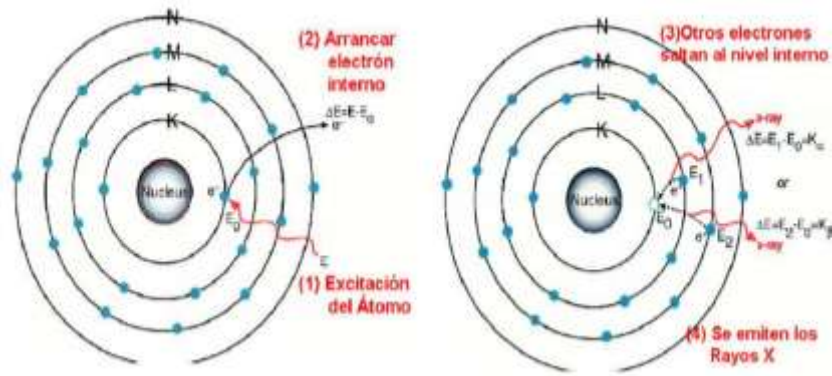


Figura 0-3: Esquema de la producción de los rayos X

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos104/fisica-nuclear-y-particulas/img14.png>

Medicina Nuclear

Al igual que con el desarrollo de cualquier campo de la ciencia o la medicina, la historia de la medicina nuclear es un tema complejo que involucra contribuciones de un gran número de científicos, ingenieros y médicos. Los orígenes de la medicina nuclear se remontan a los últimos años del siglo XIX y al descubrimiento de la radioactividad por parte de Henri Becquerel (1896) y del radio por Marie Curie (1898). Estos desarrollos se acercaron poco después del descubrimiento de los rayos X en 1895 por Wilhelm Roentgen. Tanto las radiografías como las fuentes de radio se adoptaron rápidamente para aplicaciones médicas y se usaron para crear imágenes de sombras en las que la radiación se transmitía a través del cuerpo y hacia placas fotográficas. Esto permitió a los médicos ver dentro del cuerpo humano de forma no invasiva por primera vez y fue particularmente útil para la obtención de imágenes de los huesos. Los rayos X pronto se convirtieron en el método de elección para producir radiografías, porque las imágenes podían obtenerse más rápidamente y con mejor contraste que las proporcionadas por el radio u otros radionúclidos naturales que estaban disponibles en ese momento. Aunque el campo de las imágenes de rayos X de diagnóstico ganó aceptación rápidamente, la medicina nuclear tuvo que esperar nuevos desarrollos. (CHERRY, et al., 2012, pp. 4-5)

Los fundamentos biológicos de la medicina nuclear se establecieron entre 1910 y 1945. En 1913, Georg de Hevesy desarrolló los principios del radiotrazador y fue el primero en aplicarlos a un sistema biológico. El primer estudio en humanos que empleó trazadores radiactivos fue probablemente el de Blumgart y Weiss (1927), que inyectaron una solución acuosa de radón por vía intravenosa y midieron el tiempo de tránsito de la sangre desde un brazo al otro usando una cámara de niebla como detector de radiación. En la década de 1930, con la invención del ciclotrón por Lawrence, fue posible producir artificialmente nuevos radionúclidos, ampliando así la gama de procesos biológicos que podrían estudiarse. Una vez más, Georg de Hevesy estuvo a la vanguardia del uso de estos nuevos radionúclidos para estudiar procesos biológicos en plantas y en glóbulos rojos. Finalmente, al final de la Segunda Guerra Mundial, las instalaciones del reactor nuclear que se desarrollaron como parte del Proyecto Manhattan

comenzaron a utilizarse para la producción de isótopos radiactivos en cantidades suficientes para aplicaciones médicas. (CHERRY, et al., 2012, pp. 4-5)

La década de 1950 vio el desarrollo de la tecnología que le permitió a uno obtener imágenes de la distribución de radionúclidos en el cuerpo humano en lugar de solo contabilizar en unos pocos puntos de medición. Los principales hitos incluyeron el desarrollo del escáner rectilíneo en 1951 por Benedict Cassen. La cámara Anger, el precursor de todos los modernos sistemas de imágenes de fotón único de medicina nuclear, desarrollado en 1958 por Hal Anger. En 1951, Wrenn y colaboradores también describieron el uso de emisores de positrones y las ventajosas propiedades de imagen de estos radionúclidos. Hasta principios de la década de 1960, el campo emergente de la medicina nuclear utilizaba principalmente el Yodo 131 en el estudio y diagnóstico de trastornos tiroideos y una variedad de otros radionúclidos que individualmente eran adecuados solo para unos pocos órganos específicos. El uso de ^{99m}Tc para imágenes en 1964 por Paul Harper y sus colegas cambió esto, y fue un importante punto de inflexión para el desarrollo de la medicina nuclear. Los rayos gamma emitidos por ^{99m}Tc tenían muy buenas propiedades para la obtención de imágenes. También demostró ser muy flexible para etiquetar una amplia variedad de compuestos que podrían usarse para estudiar prácticamente todos los órganos del cuerpo. Igualmente, importante, podría producirse en forma de generador de vida relativamente larga, lo que permitiría a los hospitales tener un suministro disponible del radionúclido. Hoy en día, ^{99m}Tc es el radionúclido más utilizado en medicina nuclear. El desarrollo importante fue la matemática para reconstruir imágenes tomográficas a partir de un conjunto de vistas angulares alrededor del paciente. Esto revolucionó todo el campo de las imágenes médicas (lo que llevó a CT, PET, SPECT y MRI) porque reemplazó la representación bidimensional de la distribución de radioactividad tridimensional, con una verdadera representación tridimensional. Esto permitió el desarrollo de PET por Phelps y SPECT por Kuhl durante la década de 1970 y marcó el comienzo de la era moderna de la medicina nuclear. (CHERRY, et al., 2012, pp. 4-5)

La ciencia y la práctica clínica de la medicina nuclear implican la administración de trazas de compuestos marcados con radioactividad, que se utilizan para proporcionar información de diagnóstico en una amplia gama de estados de la enfermedad. Aunque los radionúclidos también tienen algunos usos terapéuticos, con principios de física subyacentes similares. En su forma más básica, un estudio de medicina nuclear implica inyectar en el cuerpo un compuesto, que está marcado con un radionúclido que emite rayos gamma o que emite positrones. El compuesto radiomarcado se denomina radiofármaco, o más comúnmente, un marcador o radiotrazador. Cuando el radionúclido se descompone, se emiten rayos gamma o fotones de alta energía. La energía de estos rayos gamma o fotones puede salir del cuerpo sin dispersarse o atenuarse. Una cámara de rayos gamma sensible a la posición puede detectar los rayos gamma o los fotones y formar una imagen de la distribución del radionúclido y, por lo tanto, del compuesto. (CHERRY, et al., 2012, pp. 1-2)

Existen dos clases de imágenes de medicina nuclear, las imágenes de fotón único, que incluye la tomografía computarizada de emisión monofotónica (SPECT), y las imágenes de positrones, que incluye la tomografía por emisión de positrones (PET). Las imágenes de fotón único usan radionúclidos que se descomponen por emisión de rayos gamma. Se obtiene una imagen plana tomando una imagen de la distribución de radionúclidos en el paciente desde un ángulo particular. Esto da como resultado una imagen con poca información de profundidad, pero que aún puede ser útil para el diagnóstico, por ejemplo, en escaneos de hueso, donde no hay mucha absorción del trazador en el tejido que se encuentra arriba y debajo de los huesos. Para el modo tomográfico de imágenes de fotón único (SPECT), los datos se recogen desde muchos ángulos alrededor del paciente. Esto permite reconstruir imágenes transversales de la distribución del radionúclido, proporcionando así la información de profundidad que falta en las imágenes planas. Las imágenes de positrones utilizan radionúclidos que se descomponen por emisión de positrones. El positrón emitido tiene una vida muy corta y, después de la aniquilación con un electrón, produce simultáneamente dos fotones de alta energía que posteriormente son detectados por una cámara de imagen. Una vez más, las imágenes tomográficas se forman mediante la recopilación de datos desde muchos ángulos alrededor del paciente, lo que resulta en imágenes de PET. (CHERRY, et al., 2012, pp. 1-2)

El poder de la medicina nuclear radica en su capacidad para proporcionar medidas precisamente sensibles de una amplia gama de procesos biológicos en el cuerpo. Otras modalidades de imágenes médicas como la resonancia magnética (RM), las imágenes por rayos X y la tomografía computarizada por rayos X (TC) proporcionan imágenes anatómicas excepcionales, pero tienen una capacidad limitada para proporcionar información biológica. Por ejemplo, los métodos de resonancia magnética generalmente tienen un límite inferior de detección en el rango de concentración milimolar (6×10^{17} moléculas por ml de tejido), mientras que los estudios de medicina nuclear detectan de forma rutinaria sustancias marcadas radioactivamente en el rango nanomolar (6×10^{11} moléculas por ml de tejido) o picomolar (6×10^8 moléculas por mL de tejido). Esta ventaja de sensibilidad, junto con la selección cada vez mayor de compuestos radiomarcados, permite que los estudios de medicina nuclear se dirijan a los procesos biológicos muy específicos subyacentes a la enfermedad. Ejemplos de los diversos procesos biológicos que se pueden medir mediante técnicas de medicina nuclear incluyen la perfusión tisular, el metabolismo de la glucosa, el estado del receptor de somatostatina de los tumores y la densidad de los receptores de dopamina en el cerebro. (CHERRY, et al., 2012, pp. 1-2)

Debido a que los detectores de radiación pueden detectar fácilmente cantidades muy pequeñas de radioactividad, y debido a que los radioquímicos pueden etiquetar los compuestos con una actividad específica muy alta, es posible formar altos niveles de radioactividad, imágenes de alta calidad, incluso con concentraciones de compuestos nano molares o picomolares. Por lo tanto,

las cantidades mínimas de un compuesto, generalmente por debajo de las concentraciones milimolares a micromolares que generalmente se requieren para los efectos farmacológicos, se pueden inyectar y seguir con seguridad sin perturbar el sistema biológico. La dosis segura para estudios en humanos se establece a través de una cuidadosa dosimetría para cada nuevo radiofármaco aprobado para uso humano. (CHERRY, et al., 2012, pp. 1-2)

Equipos Médicos

Existe una gran variedad de equipos médicos que se utiliza en el diagnóstico por imagen, pero a continuación se detalla los equipos utilizados para la obtención de las imágenes requeridas para la realización del proyecto en cuestión.

Tomógrafo (TC)

En un sistema de imagen de tomografía computarizada (TC), un haz de rayos X se dirige al paciente y la radiación atenuada formará la imagen, la cual es medida por un receptor cuya respuesta se transmite a un ordenador. Tras analizar la señal del receptor, el ordenador reconstruye la imagen y la muestra en un monitor. La reconstrucción de la sección anatómica en el ordenador se consigue mediante ecuaciones matemáticas (algoritmos) adaptadas para procesos informatizados. (BUSHONG, 2010, p. 368)

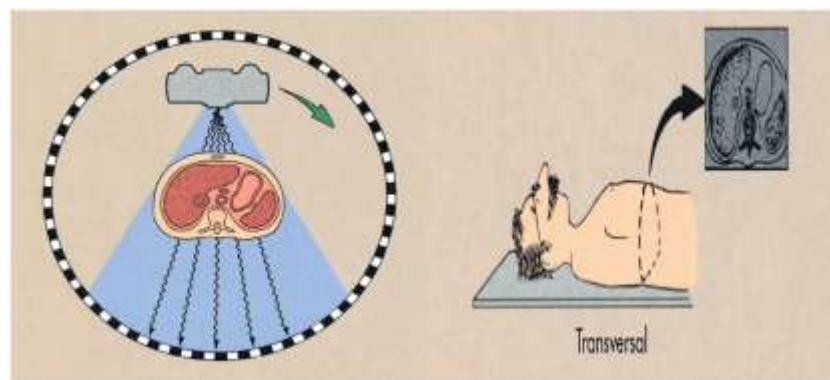


Figura 0-4: Esquema TC con una fuente de rayos X giratoria y detectores estacionarios.

Fuente: (BUSHONG, 2010, p. 371)

La Tomografía Computarizada es un tipo especial de procedimiento radiológico que implica la medición indirecta del debilitamiento, o atenuación, de los rayos x en numerosos puntos o posiciones localizadas alrededor del paciente explorado. Básicamente, lo único que conocemos es lo que sale del tubo de rayos x, lo que llega al detector, la situación del tubo de rayos x y el detector para cada posición. Se podría decir que todo lo demás se deduce a partir de esta información. La mayoría de los cortes de TC están orientados verticalmente al eje corporal a lo que se llama habitualmente cortes o secciones axiales o transversales. Para cada corte el tubo de rayos x rota alrededor del paciente para obtener un grosor de sección preseleccionado. La mayoría de los sistemas de TC emplean la rotación continua y el diseño del haz en abanico, con este diseño el tubo y el detector están estrictamente acoplados y rotan continuamente alrededor del área de rastreo mientras los rayos x son emitidos y detectados. Así, los rayos x

que han atravesado al paciente, alcanzan los detectores situados enfrente del tubo. La apertura en abanico del haz va desde los 40 a 60 grados, dependiendo del diseño particular del sistema, y viene definido por el ángulo que se origina en el foco del tubo de rayos x y que se extiende hasta los límites externos del detector. Típicamente, las imágenes son producidas con cada rotación de 360 grados, permitiendo la adquisición de un elevado número de datos y la aplicación de la dosis adecuada. Mientras se realiza el rastreo se obtiene los perfiles de atenuación, también conocidos como muestras o proyecciones. Los perfiles de atenuación no son otra cosa que una colección de señales obtenidas desde todos los canales del detector en una determinada posición angular de la unidad tubo-detector. Mientras la mesa del paciente se mueve continuamente a través del gantry, se realiza una radiografía digital sobre la que pueden planificarse los cortes deseados. Para un examen TC de la columna o de la cabeza, el gantry se angula hasta una orientación óptima. Los datos obtenidos en el canal del detector son transmitidos, perfil a perfil, a la electrónica del detector como señales eléctricas correspondientes a la atenuación real de los rayos x. Estas señales son digitalizadas y transmitidas al procesador de la imagen. (HOFER, 2001, pp. 6-7)



Figura 0-5: Tomógrafo Siemens Somaton Definition Flash
Fuente: HCAM, 2016

Gammacámara

Una Gammacámara se puede usar para estudios de imágenes estáticas, en los que se puede registrar una imagen de una distribución de radionúclidos. Se pueden obtener imágenes contiguas individuales de todo el cuerpo escaneando toda la longitud del paciente. Esto se puede lograr moviendo la cama o el equipo mientras se ajusta el cálculo del posicionamiento. Los estudios clínicos de cuerpo entero importantes incluyen exploraciones óseas del esqueleto y la localización de tumores o sus metástasis en el cuerpo. La Gammacámara también se puede usar para estudios dinámicos de imágenes, tomando varias imágenes por segundo, en los que se pueden observar cambios en la distribución de radionúclidos, esto permite que se obtenga información fisiológica, como la velocidad de captación y eliminación del marcador en

un órgano de interés. Las imágenes también se pueden sincronizar con las señales del electrocardiograma, lo que permite formar imágenes del corazón en diferentes fases del ciclo cardíaco, lo que proporciona información importante sobre la función cardíaca. Los principales componentes de una Gammacámara son; un colimador, un cristal de centelleo de Yoduro de Sodio dopado con talio (NaI (TI)), una guía de luz y una serie de tubos fotomultiplicadores. (CHERRY, et al., 2012, pp. 195-197)

El colimador usado en una Gammacámara consiste comúnmente en una placa de plomo que contiene una gran cantidad de agujeros por el cual se controla que los rayos γ sean detectados, aceptados y direccionados. Las salidas de cada tubo fotomultiplicador (PM) se amplifican y digitalizan utilizando un convertidor que transforma la señal analógica a digital (ADC). Las ubicaciones X-Y para cada rayo gamma que interactúa en el cristal de NaI (TI) se calculan a partir de las señales digitalizadas. El cristal de centelleo de NaI (TI) está provisto por una matriz de tubos de PM, en lugar de un único tubo de PM. Las señales de los tubos de PM se alimentan a circuitos lógicos de posición electrónicos o digitales, que determinan la ubicación XY de cada evento de centelleo. (CHERRY, et al., 2012, pp. 195-197)

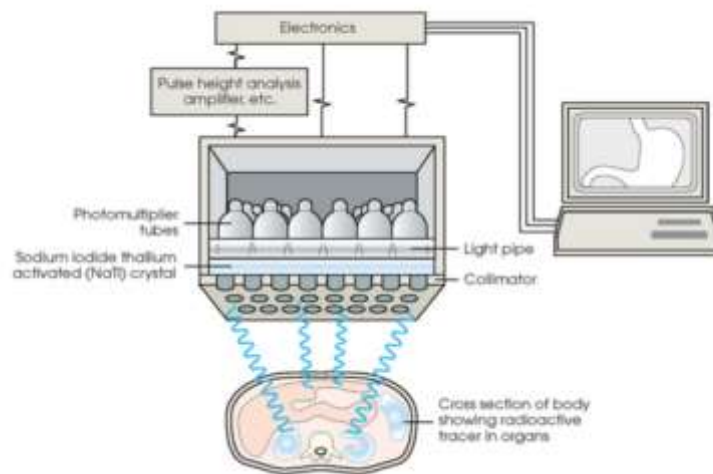


Figura 0-6: Esquema General de una Gammacámara
Fuente: (BUSHONG, 2010, p. 205)

Una imagen se forma a partir de un histograma de la cantidad de eventos en cada posible ubicación X-Y. Se requieren grandes cantidades de eventos para formar una imagen interpretable porque cada píxel debe tener un número suficiente de conteos para lograr un nivel aceptable de señal a ruido. Debido a que las imágenes a menudo se forman en matrices de 64×64 o 128×128 píxeles, los requisitos de conteo son de 103 a 104 veces más altos que para un detector de conteo simple. (CHERRY, et al., 2012, pp. 195-197)



Figura 0-7: Gammacámara General Electric Infinia
Fuente: HCAM, 2016

Tipos de Imágenes Médicas

Al igual que los equipos médicos, existe una gran variedad de imágenes médicas que se utiliza en el diagnóstico por imagen, pero a continuación se detalla las imágenes requeridas para la realización del proyecto.

Tomografía Computarizada

Los cortes de una Tomografía computarizada están orientados perpendicularmente al eje corporal, y se denominan cortes axiales o transversales. Cada uno de estos cortes tomográficos es como una “rebanada” más o menos delgada, compuesta de un número determinado de elementos volumétricos. En el monitor se representan imágenes bidimensionales (píxels) de estos elementos de volumen (voxels). Es decir, cada píxel es la representación de un volumen tridimensional. En TC convencional se adquieren secuencialmente una serie de imágenes, separadas por espacios iguales, a través de una región específica. Tras cada corte hay una breve pausa, que permite el avance de formación continuada hasta la siguiente posición preestablecida. (MUÑIZ, 2006, p. 208)

Si se disponen de estudios de TC previos conviene comparar las imágenes. Previa a la realización de una TC deben retirarse todos los objetos metálicos (joyas, cremalleras o corchetes metálicos, etc.) con el fin de evitar artefactos. (MUÑIZ, 2006, p. 208)

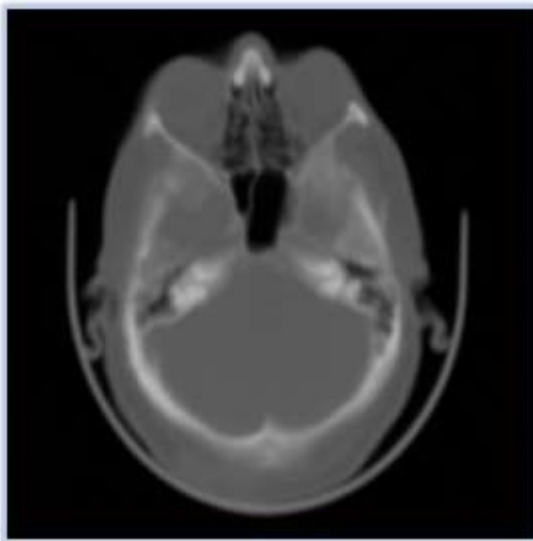


Figura 0-8: Tomografía Cerebral, corte Axial (Color GRAY)
Fuente: David Martínez, 2018 - Examen cerebral tomo gráfico.

Tomografía Computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT)

La Tomografía Computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT) se ha convertido en un procedimiento de rutina en la mayoría de los departamentos de medicina nuclear. Un SPECT proporciona importantes desafíos técnicos para el tecnólogo de medicina nuclear, en comparación con las imágenes planas, en las áreas de adquisición de SPECT, se realiza reconstrucción de imágenes y procesamiento de datos. Muchos nuevos avances en la metodología SPECT están disponibles, como la reconstrucción iterativa, la fusión multimodal y la SPECT cardíaca avanzada. Las imágenes SPECT son exigentes y requieren una cuidadosa atención a los protocolos de adquisición apropiados, ya sean circulares o no circulares, y el pos-procesado se vuelve más complejo con la adición de algoritmos de reconstrucción iterativa y corrección de la atenuación, entre otros. Comprender los principios de SPECT es esencial no solo para producir escaneos de la más alta calidad sino también para identificar artefactos de imágenes. Los métodos de reconstrucción han mejorado, tanto en términos de calidad de imagen reconstruida como de velocidad de reconstrucción; ahora son prácticos para uso rutinario. Las exploraciones de SPECT se ven como cortes en las dimensiones transversales, sagitales o coronales, y para aplicaciones cardíacas, reorientadas en cortes oblicuos de eje corto o largo. Usando la tecnología actual, se puede renderizar una representación tridimensional de la superficie o el volumen del órgano y se puede ver la imagen SPECT como un objeto verdaderamente tridimensional. La SPECT es muy parecida a una radiografía, pero la fuente de radiación es la desintegración gamma de un radionúclido dentro del cuerpo y no los rayos X generados por un aparato externo. Como en una radiografía, cada una de las imágenes que se obtienen es bidimensional, pero pueden combinarse muchas imágenes tomadas desde distintas posiciones alrededor del paciente para obtener una imagen

tridimensional. Esta imagen tridimensional puede después manipularse informáticamente para obtener secciones dimensionales del cuerpo en cualquier orientación. La SPECT utiliza los rayos gamma que producen isótopos radioactivos como el tecnecio 99m. Estos isótopos se introducen en el cuerpo humano como parte de moléculas biológicamente activas. El procedimiento es similar al de la tomografía por emisión de positrones (PET), pero en la SPECT es el isótopo el que produce directamente el rayo gamma, mientras en la PET el isótopo produce un positrón que después se aniquila con un electrón para producir los dos rayos gamma. Estos dos rayos gamma salen en direcciones opuestas y su detección simultánea permite localizar el isótopo de forma más precisa que en la SPECT. La SPECT es, sin embargo, más simple porque pueden usarse isótopos más fáciles de obtener y de vida media más larga. (MARK & WILLIAM, 2000, pp. 233-234)

La ventaja de las imágenes SPECT es que la información fuera del plano se elimina, y al eliminar la información fuera del plano el SPECT mejora significativamente el contraste de la imagen sobre las imágenes planas y tiene la capacidad de separar las estructuras superpuestas. Se puede obtener un aumento de hasta 6 veces en el contraste de la imagen con las técnicas de imagen SPECT, y la interpretación visual de los escaneos se beneficia de este contraste mejorado. La resolución espacial no se mejora fundamentalmente mediante el escaneo SPECT y el beneficio principal del escaneo SPECT reside en el contraste de imagen mejorado. Clínicamente, la capacidad de ver la imagen reconstruida en múltiples planos y separar las estructuras superpuestas puede obviar la necesidad de múltiples imágenes. Una posible ventaja adicional de la exploración con SPECT radica en una mejor cuantificación de la función cardíaca, en la determinación del volumen del tumor / órgano y en la cuantificación de la captación de radioisótopos. Los problemas de atenuación y dispersión de rayos gamma se pueden manejar mejor con SPECT (aunque todavía no completamente) sobre las imágenes planas de proyección, ya que la ubicación espacial de las características y la perspectiva le permite evaluar la cantidad de tejido atenuante entre la superficie de la piel y el órgano de interés. (MARK & WILLIAM, 2000, pp. 233-234). La instrumentación y el software utilizados para la obtención de imágenes SPECT han mejorado significativamente en los últimos 20 años. Las exploraciones SPECT proporcionan información útil adicional, pero también requieren una atención más cuidadosa a la Gammacámara y al control de calidad de la computadora, particularmente cuando se utilizan sistemas de Gammacámara con cabezales múltiples. (MARK & WILLIAM, 2000, pp. 233-234)

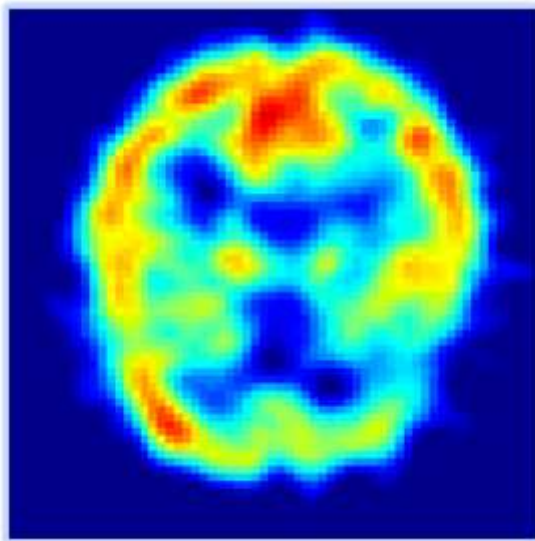


Figura 0-9: SPECT Cerebral estático, corte Axial (Color JET)
Fuente: David Martínez, 2018 - Examen cerebral tomográfico.

Fundamentos de Imágenes Médicas

Para crear imágenes del cuerpo humano, la ciencia médica utiliza una extensa diversidad de formas de energía capaces de penetrar diferentes tejidos y al mismo tiempo interactuar dentro de los mismos hasta cierto límite. El campo de emisión es modulado por el objeto y medido por un sensor. El resultado final de este proceso siempre produce una distribución de niveles de gris o tonos de color, la cual representa una imagen capaz de ser visualizada. En cuanto al concepto de calidad de imagen se define dentro del entorno del diagnóstico médico. Así, por ejemplo, desde un punto de vista puramente técnico, el área oscura detrás de una estructura ósea en una imagen de ultrasonido se descarta debido a que corresponde a una distorsión o artefacto de esta imagen. Sin embargo, para el médico esta información tiene valor de diagnóstico. Es decir, técnicamente es posible cuantificar o valorar las características de calidad de una imagen en particular tal como resolución espacial, contraste, ruido y distorsión; pero el valor relativo de estas características está definido por el usuario. El usuario de un sistema de imágenes médicas está solamente interesado en un método para evaluar la calidad de las imágenes generadas por el sistema. Sin embargo, el diseñador necesita además una comparación de las características de transferencia de las distintas etapas que componen el mismo. Las dos características más importantes para evaluar la calidad son la resolución espacial y el contraste de la imagen, las cuales pueden ser derivadas a partir de la función de transferencia de modulación (MTF-Modulation Transfer Function). Por otro lado, existen otros criterios que se utilizan para valorar características como la distorsión y el ruido de la imagen. Existen métodos que pretenden dar una respuesta al problema de la evaluación de la calidad intentando evaluar la percepción de estructuras de muestra predefinidas las cuales pueden ser obtenidas por fantasmas. Estos métodos hacen posible evaluar el sistema de acuerdo a características relevantes para el médico. Las modalidades, tales como Tomografía Computada, Resonancia Magnética Nuclear, Ecografía, etc., ya tienen una naturaleza digital.

En un sentido amplio, una imagen digital $f(x, y)$ es la representación de una imagen obtenida utilizando diferentes procedimientos: proyecciones radiológicas convencionales (RX), ultrasonografía, tomografía computada, o resonancia magnética nuclear. Las coordenadas para la ubicación de estructuras anatómicas son x, y . El valor de $f(x, y)$ de la posición (x, y) es llamado nivel de gris y es un entero no negativo. Dependiendo del procedimiento de digitalización utilizado, los valores de nivel de gris pueden tener los siguientes rangos: 0-255 (8bits), 0-511(9bits), 0-1023 (10bits), 0-2047 (11bits), 0-4095 (12bits). Estos niveles representan propiedades físicas o químicas de las estructuras. Las dimensiones de la imagen se expresan en pixeles, indicando la cantidad de filas y columnas de la imagen. La visualización de las imágenes médicas puede realizarse mediante la impresión de la imagen en una placa radiográfica o en un papel térmico; o bien, visualizarlo en un monitor en forma temporal. (GRAFFIGNA, 2003, pp. 1-2)

Registro de Imágenes

El paso a la obtención de imágenes mediante el sistema digital se está realizando con gran rapidez, ya que ofrece varias ventajas significativas con respecto a la radiografía convencional. Cuando la exploración se ha completado, las imágenes pueden guardarse en un soporte impreso para poderlas clasificar, transportar y almacenar para su revisión en el futuro. (BUSHONG, 2010, p. 427)

El registro es la determinación de una transformación geométrica de los puntos en una vista de un objeto con los puntos correspondientes en otra vista del mismo objeto o en otro objeto. El término vista incluye imágenes 3D y 2D, las imágenes 3D las obtenemos de modalidades tomográficas como: TAC, RMN, PET, SPECT. Las imágenes 2D se obtienen de proyecciones como en rayos-X ó de cortes individuales como en ultrasonido. En aplicaciones médicas el objetivo de cada vista es una región anatómica. Las dos vistas pueden provenir del mismo paciente lo que constituye un problema de registro intra-paciente, o pueden provenir de distintos pacientes registro inter-paciente. Las entradas para un algoritmo de registro son las dos vistas que se desea registrar, la salida es una transformación geométrica, que mapea los puntos en una vista a los puntos correspondientes en la otra. El registro es adecuado en la medida en que mapea todos los puntos correspondientes. La determinación de un criterio de correspondencia adecuado es específica del dominio de las imágenes, en nuestro caso la anatomía humana. Para que el registro sea útil el mapeo que produce debe poder aplicarse en el diagnóstico y tratamiento clínico. Una aplicación clínica común del registro es la fusión de dos modalidades diferentes, como en este estudio SPECT – TC. (ARAMBULA, 2008, p. 1)

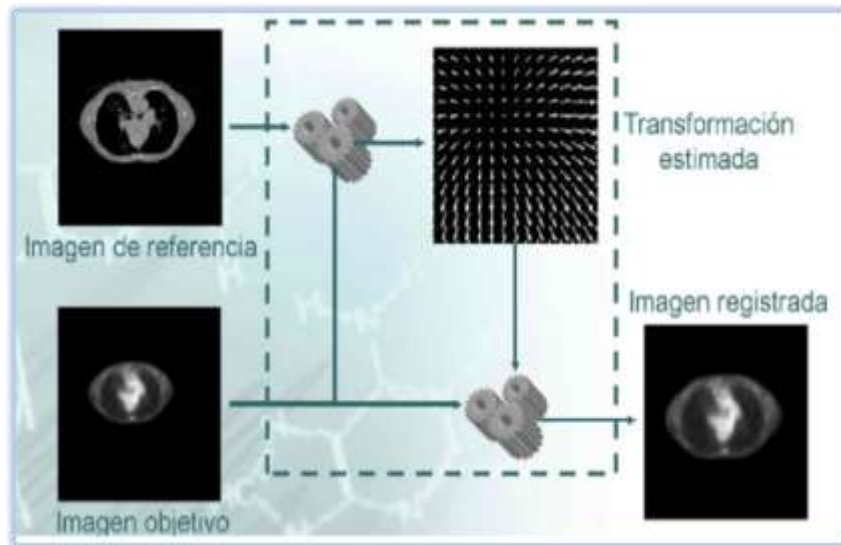


Figura 0-10: Esquema de Registro de Imagen
Fuente: David Martínez 2017

El formato DICOM

Vivimos una época en la que las formas de la información sufren un proceso de digitalización. Las imágenes, por supuesto, no han podido escapar a este proceso. La fotografía, el cine, la televisión, el diseño gráfico e, incluso, el diseño industrial produce miles de imágenes digitales, que son almacenadas en algún soporte físico, enviadas por un medio de transmisión electrónico, presentadas en una pantalla o impresas en papel. Por lo cual, debido a la creciente tendencia hacia la digitalización en los hospitales, especialmente en el diagnóstico por imagen, y la necesidad de comunicaciones médicas, ha puesto en notoriedad la necesidad de estandarizar los protocolos de comunicación y los formatos de la información. Uno de los estándares más exitosos hasta la fecha es DICOM siglas de Digital Imaging and Communications in Medicine. (CLINIC CLOUD, 2014)

DICOM es un protocolo estándar de comunicación entre sistemas de información y a la vez un formato de almacenamiento de imágenes médicas que aparece como solución a los problemas de interoperabilidad entre tipos de dispositivos. Una imagen médica por sí misma no aporta suficiente información. Para que sea correctamente interpretada es necesario que vaya acompañada de datos del paciente y de la adquisición. Por eso formatos tradicionales como el .jpeg o el .png se quedan cortos. El formato DICOM cuenta con objetos IOD (Information Object Definition), formados por la imagen y su información asociada (Son una representación lógica de objetos del mundo real) y DIMSE (DICOM Message Service Element), operaciones que pueden realizarse sobre un objeto. IOD y DICOM forman SOP, la unidad funcional de DICOM. (CLINIC CLOUD, 2014)

MATLAB y la Caja de herramientas de procesamiento de imágenes proporcionan un acceso fácil a los datos de los archivos DICOM. Acceder a datos en archivos DICOM se vuelve tan fácil como trabajar con imágenes TIFF o JPEG. En imágenes médicas, un paciente está sujeto a

un estudio de imágenes, que puede contener múltiples series de imágenes. Cada serie se realiza en una sola modalidad, como un dispositivo de MR, CT o de rayos X, y puede tener múltiples imágenes relacionadas. Supongamos que tenemos un estudio que consiste en una serie de 20 imágenes cerebrales transversales de MRI y queremos leerlas en MATLAB, Supongamos que sabemos que cada imagen es 256 por 256 y contiene datos firmados de 16 bits. Podemos leer la serie con el siguiente código:

```
% Asigna previamente la matriz de imágenes de 256x256 por 1 por 20.  
X = repmat(int16(0), [256 256 1 20]);  
% Lee la serie de imágenes.  
for p=1:20  
    filename = sprintf('brain_%03d.dcm', p);  
    X(:,:,1,p) = dicomread(filename);  
end  
% Muestra la pila de imágenes.  
montage(X,[])
```

Después de ejecutar este código, el espacio de trabajo de MATLAB contiene una matriz 4-D con los datos de la imagen, y aparece un gráfico de las divisiones MR.

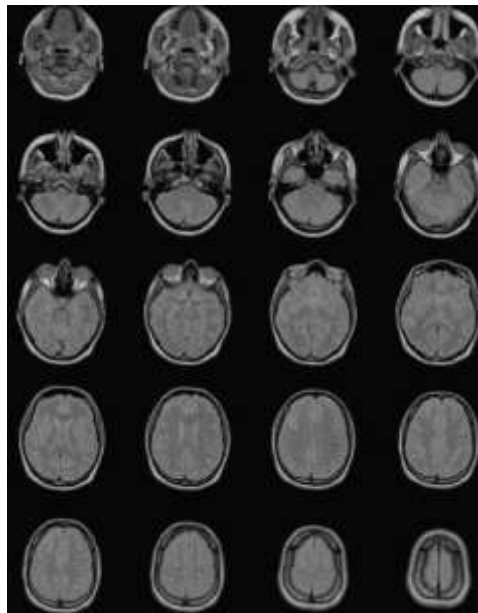


Figura 0-11: Gráfico de las divisiones MR
Fuente: Jeff Mather, MathWorks, 2015

La Caja de herramientas de procesamiento de imágenes mediante la función `dicominfo` devuelve los metadatos de un archivo DICOM. (Ver Figura 1.12). El nombre de los archivos aparece con la extensión 'dcm'. En MATLAB existen una serie de funciones que permiten tratar con imágenes en formato DICOM, como por ejemplo la función `dicomread` que permite leer la imagen, la función `dicomwrite` que genera una imagen en formato DICOM, o la función `dicominfo` que muestra la información contenida en la cabecera.

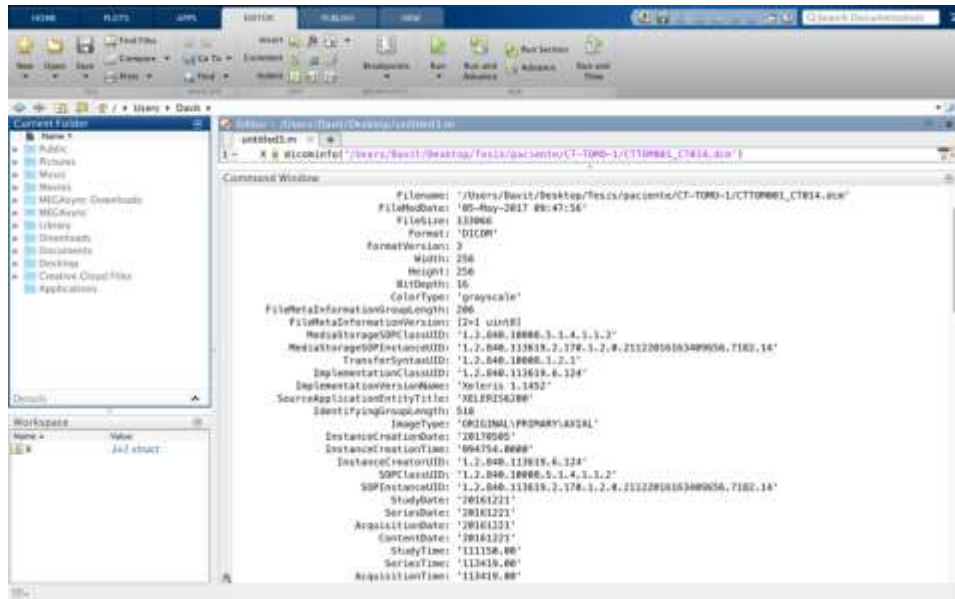


Figura 0-12: Salida por pantalla de la función `dicominfo` de MATLAB
Fuente: David Martínez, 2017 - Matlab 2016

Fusión de Imágenes

La fusión de imágenes es la técnica de combinar varias imágenes de fuentes multimodales con su respectiva información complementaria para formar una nueva imagen, que incluye todas las características comunes y adicionales de las imágenes individuales. Con los recientes desarrollos rápidos en el dominio de las tecnologías de imágenes, los sistemas multisensoriales se han convertido en una realidad en amplios campos como la teledetección, las imágenes médicas, la visión artificial y las aplicaciones militares. La fusión de imágenes proporciona una forma efectiva de reducir este volumen creciente de información al extraer toda la información útil de las imágenes de origen. La fusión de imágenes proporciona un método eficaz para permitir la comparación y el análisis de datos de un multisensor con información complementaria sobre la región en cuestión. La fusión de imágenes crea nuevas imágenes que son más adecuadas para la percepción humano / máquina y para otras tareas de procesamiento de imágenes como la segmentación, la detección de objetos o el reconocimiento de objetivos en aplicaciones tales como la detección remota y las imágenes médicas. (PATEL, 2017, p. 1002)

El sistema médico está bajo muchos factores de presión para ofrecer los más altos servicios de manera eficiente. Para brindar un soporte real para el diagnóstico, las imágenes deben procesarse con diferentes algoritmos, para una mejor precisión. Una fusión basada en transformadas tiene algunas ventajas sobre otros métodos simples, como la compactación de energía, características reducidas, etc. Los coeficientes de transformación son representativos de los píxeles de la imagen. Las investigaciones clínicas se basan cada vez más en imágenes médicas y los médicos se enfrentan a menudo con la dificultad de integrar la gran cantidad de

datos. Los especialistas deben visualizar y comparar imágenes de diferentes modalidades médicas y correlacionar la información observada con los datos clínicos y auxiliares. Una fusión de imágenes multimodal puede ser muy útil para aplicaciones clínicas como el diagnóstico, la modelización del cuerpo humano o la planificación del tratamiento. La fusión de imágenes tomadas a diferentes resoluciones, intensidad y por diferentes técnicas ayuda a los médicos a extraer las características que pueden no ser normalmente visibles en una sola imagen por diferentes modalidades. El uso de fusión en radioterapia y cirugía de cráneo. Aquí, la información proporcionada por una Tomografía Computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT) y la tomografía computarizada (TC) de rayos X es complementaria. La TC proporciona la mejor información sobre el tejido más denso y la SPECT ofrece la mejor información sobre los tejidos blandos. Los tejidos blandos normales y patológicos se visualizan mejor mediante SPECT, mientras que la estructura del hueso tisular se visualiza mejor mediante TC. La imagen compuesta, no solo proporciona información sobresaliente de ambas imágenes simultáneamente, sino que también revela la posición relativa de los tejidos blandos con respecto a la estructura ósea. La fusión de imágenes tomadas a diferentes resoluciones, intensidad y por diferentes técnicas ayuda a los médicos a extraer las características que pueden no ser normalmente visibles en una sola imagen por diferentes modalidades. Este trabajo tiene como objetivo la fusión de imágenes registradas de TC y SPECT. (SINGH, 2014, p. 7350)

Los algoritmos de fusión de imágenes se pueden clasificar en diferentes niveles: bajo, medio y alto; o pixel, función y niveles simbólicos. El método de nivel de píxel funciona en el dominio espacial o en el dominio de transformación. El requisito previo para tal operación es que las imágenes hayan sido adquiridas por sensores homogéneos, de modo que las imágenes reproduzcan propiedades físicas similares o comparables de la escena. Las técnicas de fusión píxel por píxel incluyen operaciones aritméticas básicas, operaciones lógicas y operaciones probabilísticas, así como operaciones matemáticas ligeramente más complicadas. Los valores de imagen incluyen niveles de grises de píxeles, valores de mapa de características y etiquetas de mapa de decisiones. Los métodos de fusión, como promediar, el método de Brovey, el análisis de componentes principales (PCA) y los métodos basados en IHS, caen bajo los enfoques de dominio espacial. Los algoritmos de nivel de característica normalmente segmentan la imagen en regiones contiguas y fusionan las regiones utilizando sus propiedades. Las características utilizadas pueden calcularse por separado de cada imagen o pueden obtenerse mediante el procesamiento simultáneo de todas las imágenes. En los últimos años, el estudio de la fusión de imágenes médicas multimodales atrae mucha atención con el aumento de la demanda de aplicaciones clínicas. El plan de radioterapia, por ejemplo, a menudo se beneficia de la información complementaria en imágenes de diferentes modalidades. El cálculo de la dosis se basa en los datos de la tomografía computarizada (TC), mientras que el trazado del tumor a menudo se realiza mejor en la Tomografía Computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT). Para diagnóstico médico, un TC proporciona la mejor

información sobre tejido más denso con menos distorsión, un SPECT proporciona mejor información sobre tejido blando con más distorsión. La idea de combinar imágenes de diferentes modalidades se vuelve muy importante y la fusión de imágenes médicas se ha fusionado como un nuevo y prometedor campo de investigación. (SINGH, 2014, p. 7350)

Cualquier información tiene sentido solo cuando es capaz de transmitir el contenido. La claridad de la información es importante. La fusión de imágenes es un mecanismo para mejorar la calidad de la información de un conjunto de imágenes. Mediante el proceso de fusión de imágenes, la buena información de cada una de las imágenes dadas se fusiona para formar una imagen resultante cuya calidad es superior a cualquiera de las imágenes de entrada. Esto se logra aplicando una secuencia de operadores en las imágenes que haría prominente la buena información en cada una de las imágenes. La imagen resultante se forma combinando dicha información ampliada de las imágenes de entrada en una única imagen. Las diferentes modalidades se pueden fusionar usando la regla de Fusión. La regla de selección de Fusión incluye elegir las características principales de las imágenes de entrada. Los valores absolutos más altos de los coeficientes los cuales corresponden a características como los bordes o las singularidades. La fusión de imágenes encuentra su aplicación en una amplia gama de áreas. Se usa para diagnóstico y tratamiento médico. Las imágenes de un paciente en diferentes formatos de datos pueden fusionarse. Estas formas pueden incluir imágenes de resonancia magnética (MRI), tomografía computarizada (CT), tomografía por emisión de positrones (PET) y Tomografía Computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT). En radiología y radiación oncológica, estas imágenes tienen diferentes propósitos. Por ejemplo, las imágenes de CT se utilizan con más frecuencia para determinar las diferencias en la densidad del tejido, mientras que las imágenes de SPECT se utilizan generalmente para diagnosticar tumores cerebrales. La fusión de imágenes también se utiliza en el campo de la teledetección, donde las imágenes multivariadas como imágenes térmicas, imágenes IR, imágenes UV, imágenes ópticas ordinarias, etc. pueden fusionarse para obtener una mejor imagen de un satélite. (MOHINDRU, 2014, p. 11579)

Dosimetría de Radiación Interna

La absorción de energía de la radiación ionizante puede dañar los tejidos vivos. Esto se usa como ventaja en la terapia con radionúclidos, pero es una limitación para las aplicaciones de diagnóstico porque es un peligro potencial para el paciente. En cualquier caso, es necesario analizar cuantitativamente la distribución de energía en los tejidos corporales para garantizar una prescripción terapéutica precisa o para evaluar los riesgos potenciales. La radiobiología se encarga del estudio de los efectos de la radiación en organismos vivos. Uno de los factores más importantes a considerar en la evaluación de los efectos de la radiación en un órgano es la cantidad de energía de radiación depositada en ese órgano. Hay dos métodos generales

mediante los cuales se pueden realizar estos cálculos: el método clásico y el método de fracción absorbida. Aunque el método clásico es algo más simple, y los resultados por los dos métodos no son muy diferentes, el método de fracción absorbida, también conocido generalmente como el método MIRD, después del Comité de dosis de radiación interna médica de la Sociedad de Medicina Nuclear, es más versátil y brinda resultados más precisos. Por lo tanto, ha ganado una amplia aceptación como el método estándar para realizar cálculos de dosimetría interna. (CHERRY, et al., 2012, p. 407)

Método simple

La dosis de radiación, D , se refiere a la cantidad de energía de radiación depositada en un tejido corporal que actúa como absorbente por gramo de material. La unidad básica de la dosis de radiación es el gray, abreviado Gy. Un gray es equivalente a la absorción de un Julio de energía por un kilogramo de masa de material irradiado. La dosis equivalente (H_T), es una cantidad que tiene en cuenta el daño biológico relativo causado por la radiación que interactúa con un tejido u órgano particular. El daño tisular depende del tipo y la energía de la radiación, y cómo exactamente la radiación deposita su energía en el tejido. Por ejemplo, una partícula α tiene un corto alcance en el tejido y deposita toda su energía en una región muy localizada. Por el contrario, los rayos γ y los electrones depositan su energía en un área más amplia. Para radiaciones de interés en medicina nuclear (rayos γ , rayos X, electrones y positrones) el factor de ponderación de radiación es igual a 1. Por lo tanto, la dosis equivalente en Sv (o rem) es numéricamente igual a la dosis absorbida en Gy (o rads). (CHERRY, et al., 2012, p. 407)

Método MIRD (Método de Fracción Absorbida)

El método de dosimetría de fracción absorbida permite calcular la dosis de radiación administrada a un órgano blanco a partir de la radioactividad contenida en uno o más órganos fuente en el cuerpo. La fuente y el objetivo pueden ser el mismo órgano y, de hecho, frecuentemente el contribuyente más importante a la dosis de radiación es la radioactividad contenida en el propio órgano blanco. En general, los órganos que no sean el órgano blanco se consideran órganos fuente si contienen concentraciones de radioactividad que exceden la concentración promedio en el cuerpo. El procedimiento general para calcular la dosis de radiación a un órgano blanco a partir de la radioactividad en un órgano fuente es un proceso de tres pasos:

1. Se determina la cantidad de actividad y el tiempo dedicado por la radioactividad en el órgano fuente. Obviamente, cuanto mayor es la actividad y cuanto mayor es el tiempo que está presente, mayor es la dosis de radiación administrada.
2. Se calcula la cantidad total de energía de radiación emitida por la radioactividad en el órgano fuente. Esto depende principalmente de la energía de las emisiones de radionúclidos y su frecuencia de emisión (número por desintegración).

3. Se determina la fracción de energía emitida por el órgano fuente que es absorbida por el órgano objetivo. Esto depende del tipo y la energía de las emisiones (características de absorción en los tejidos del cuerpo) y de las relaciones anatómicas entre los órganos fuente y objetivo (tamaño, forma y distancia entre ellos).

Cada uno de estos pasos implica ciertas dificultades. El paso 2 implica las características físicas del radionúclido, que generalmente se conocen con precisión. El paso 3 involucra la anatomía del paciente, que puede ser bastante diferente de un paciente a otro. El paso 1 es quizás el más problemático. Los datos sobre la distribución de radiofármacos que están disponibles generalmente se obtienen a partir de estudios en un número relativamente pequeño de seres humanos o animales. (CHERRY, et al., 2012, pp. 408 - 409)

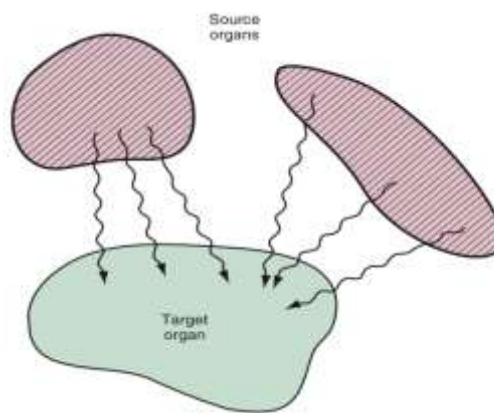


Figura 0-13: Esquema de radiación emitida por un órgano fuente hacia un órgano objetivo.
Fuente: (CHERRY, et al., 2012, p. 409)

Existen variaciones en el metabolismo y distribución de radionúclidos entre los seres humanos, especialmente en diferentes estados de enfermedad. Además, la distribución de la radioactividad dentro de un órgano puede ser o no homogénea, lo que conduce a nuevas incertidumbres en la especificación de dosis para ese órgano. Debido a estas complicaciones y variables, los cálculos de dosis de radiación se hacen para modelos anatómicos que incorporan tamaños y formas anatómicas "promedio". Las dosis de radiación que se calculan son valores promedio de D para los órganos en este modelo anatómico. Se hace una excepción cuando uno está específicamente interesado en una dosis superficial a un órgano de la actividad contenida dentro de ese órgano, por ejemplo, la dosis a la pared de la vejiga que resulta del contenido de la vejiga. Se considera que tiene un valor de la mitad de la dosis promedio para el órgano o, en este caso, el contenido de la vejiga. (CHERRY, et al., 2012, p. 410)

A pesar de los modelos matemáticos utilizados en el modelo de fracción absorbida, los resultados obtenidos son solo estimaciones de valores promedio. Por lo tanto, deben usarse solo con fines de guía para evaluar los posibles efectos de la radiación en un paciente. Los modelos de fantasmas utilizados durante muchos años fueron el Cristy y Eckerman, publicados por el comité MIRD de la Society of Nuclear Medical, desarrollaron posteriormente una serie de

modelos que representaban recién nacidos, niños de 1 año, niños de 5 años y 10 años, jóvenes de 15 años y adultos.

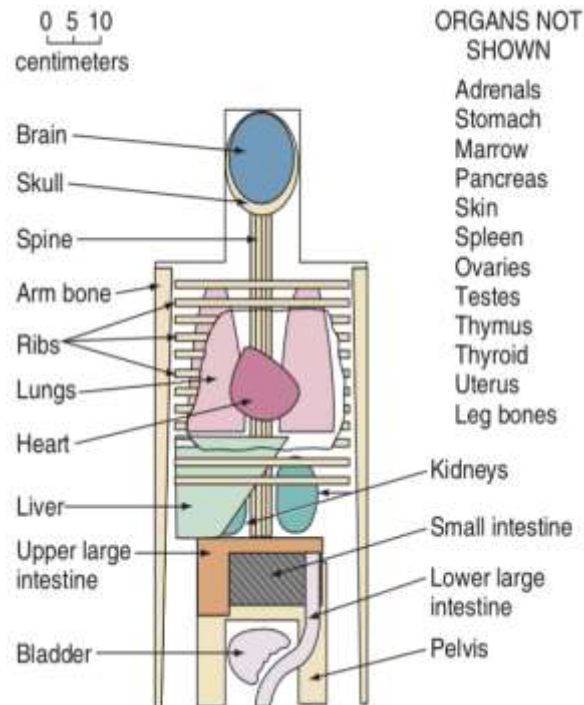


Figura 0-14: Fantoma utilizado para los cálculos y tablas de dosis MIRD.
Fuente: (CHERRY, et al., 2012, p. 409)

Para el fantoma de Ekerman en su modelo masculino adulto, la mayoría de los valores para la fracción absorbida (ϕ) son similares al modelo desarrollado originalmente por el comité MIRD, sin embargo, también existen algunas diferencias significativas, como en la masa para la médula ósea. En consecuencia, los modelos Cristy y Eckerman ahora han reemplazado al modelo MIRD anterior. Los cálculos de la fracción absorbida (ϕ) son complejos, y las tablas son bastante largas para las radiaciones "penetrantes" (fotones con energía ≥ 10 keV) debido a la dependencia energética de la atenuación y absorción del fotón; sin embargo, la situación es más simple para las radiaciones no penetrantes (fotones con energía < 10 keV), por lo que se puede suponer que toda la energía emitida se "absorbe localmente", es decir, dentro del órgano fuente mismo. Para estas emisiones, $\phi = 1$ cuando el objetivo y la fuente son el mismo órgano, $\phi = 0$ de otra manera. En los cálculos de dosimetría, es útil sumar las constantes de dosis absorbidas en equilibrio para las radiaciones no penetrantes y tratarlas como un parámetro único, porque las fracciones absorbidas para todas estas emisiones son iguales. Los cálculos de la dosis de radiación para las radiaciones penetrantes pueden ser bastante tediosos, especialmente cuando existen múltiples emisiones para tener en cuenta. El problema ha sido simplificado por la introducción de la Dosis media por actividad acumulada (S), conocido también como factor de dosis (DF). (CHERRY, et al., 2012, p. 415)

La cantidad S tiene unidades de Gy / Bq.seg. Se ha calculado para diferentes pares de órganos fuente-objetivo para una amplia variedad de radionucleidos de interés en medicina nuclear. Las tablas Tc99m, Yodo 131, Flúor 18 (Ver Anexo) presentan valores de S para 99mTc, 131I y 18F, respectivamente. Dados los valores de S y la actividad acumulada (A), la dosis promedio para un órgano viene dada por la ecuación $D = S \times A$. Cuando se representan situaciones simplificadas en las que solo participan unos pocos órganos y donde las actividades acumuladas de los órganos son relativamente fáciles de estimar, se puede realizar un cálculo con error mínimo. En muchos casos, los cálculos son más complicados, con curvas complejas de tiempo-actividad y una distribución más amplia del radiofármaco entre los diferentes órganos. Para facilitar los cálculos de dosimetría, se ha desarrollado un software en MATLAB para calcular la dosis absorbida en órganos principales a partir de radionúclidos comúnmente empleados utilizando los fantomas Cristy y Eckerman de anatomía humana. Esto simplifica en gran medida los cálculos de la dosis, aunque todavía es necesario proporcionar los datos de actividad acumulada para cada órgano. (CHERRY, et al., 2012, p. 415)

Coefficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación lineal (μ) es una cantidad peculiar de cada material y se entiende como la pérdida de energía de la radiación con la distancia que recorre. El coeficiente de atenuación en una gammagrafía se define como la reducción relativa de la intensidad de la radiación por unidad de recorrido cuando un haz de fotones atraviesa un material absorbente. (Ortega Giron , 2009, p. 5)

1. LA INVESTIGACIÓN

3.1. Instrumentos de Investigación

Los instrumentos utilizados para recolectar la información son:

- **El cuestionario.-** Hernández R. (2006) menciona que un cuestionario “consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir”. Se comentó primero sobre las preguntas y luego sobre las características deseables de este tipo de instrumento, así como los contextos en los cuales se pueden administrar los cuestionarios.
- **La Entrevista.-** Las entrevistas se utilizan para recabar información a través de preguntas que propone el analista. La entrevista se realizó al Alcalde del Cantón Chambo
- **La encuesta.-** Es importante hacer un diagnóstico de cómo está en realidad la situación del cantón Chambo, cuantificarlo y cualificarlo. La encuesta se aplica a los habitantes del cantón para evaluar su conocimiento acerca de la participación ciudadana e identificar las potenciales propuestas para su impulso.

3.2. Población y muestra sujeta a investigación

Población

Se trabajó con una población de 2730 personas que corresponden a la población económicamente activa residente en el Cantón Chambo.

Muestra

La fórmula a aplicar para la muestra es simple aleatoria:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Dónde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población; corresponde a 2730 pobladores de la PEA del Cantón Chambo, Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96

e = Límite aceptable de error maestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Siendo en nuestro caso el siguiente el cálculo a realizar:

n = el tamaño de la muestra.

N = 730 pobladores.

Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = 1.96

e = 5% = 0,05

Aplicación de la Formula

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

n = 252 Pobladores Chambo.

El tamaño de la muestra es de 252 personas a ser encuestadas

3.3. Presentación de resultados de las preguntas representativas

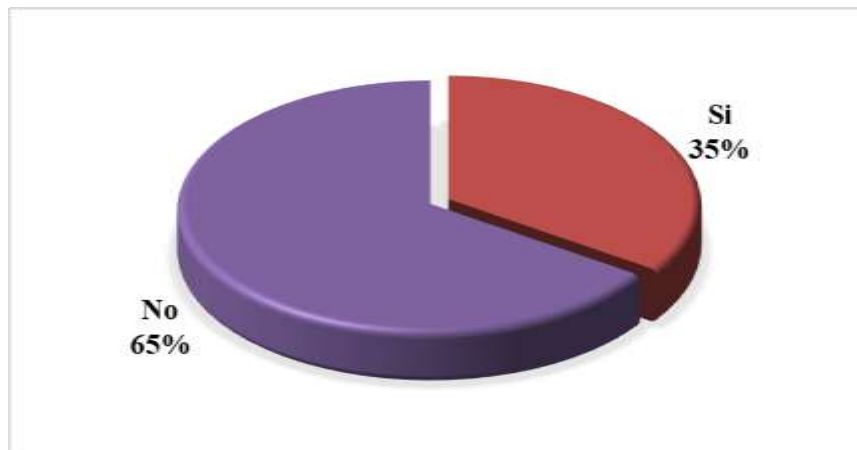
1. ¿Se cumple con el principio de acceso a la información pública por parte de las autoridades del GAD Cantonal de Chambo?

Tabla 1: ¿Se cumple con el principio de acceso a la información pública?

ITEM	VARIABLE RELATIVA	VARIABLE DISCRETA
Si	87	35%
No	165	65%
Total:	252	100%

Fuente: Encuesta a habitantes de Cantón Chambo
Elaborado por: Grupo Investigador

Gráfico 1: ¿Se cumple con el principio de acceso a la información pública?



Fuente: Tabla N° 5
Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

El 65% de la población considera que no se cumple con el principio de acceso a la información pública, mientras el 35% señala que sí se lo hace.

Interpretación

Es importante que las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Chambo, den facilidades para que la ciudadanía pueda acceder a la información institucional, puesto que ello mejorará la imagen que de ella tiene la ciudadanía y se logrará un mayor respaldo ciudadano a la gestión de sus gobernantes.

2. ¿Podría la gestión pública mejorar la participación ciudadana en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo?

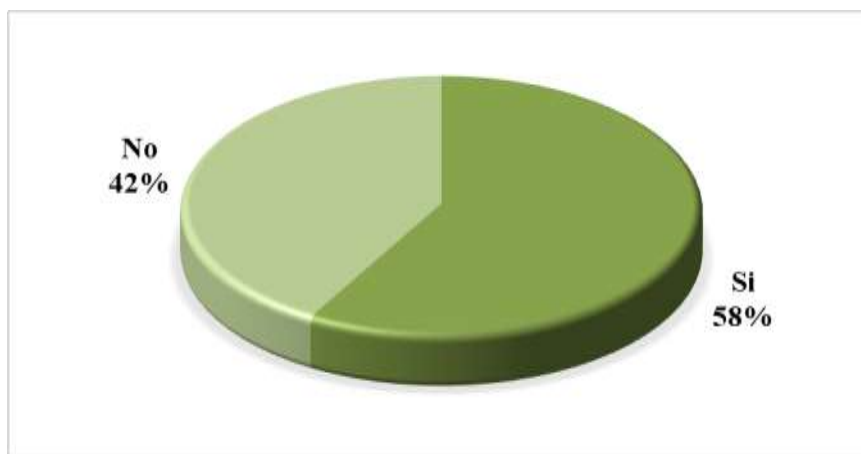
Tabla 2: ¿Podría la gestión pública mejorar la participación ciudadana?

ITEM	VARIABLE RELATIVA	VARIABLE DISCRETA
Si	147	58%
No	105	42%
Total:	252	100%

Fuente: Encuesta a habitantes de Cantón Chambo

Elaborado por: Grupo Investigador

Gráfico 2: ¿Podría la gestión pública mejorar la participación ciudadana en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo?



Fuente: Tabla N° 12

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

El 58% de la población indica que la gestión pública si mejorará con la participación ciudadana, mientras el 42% considera que no.

Interpretación

La participación ciudadana, si bien no es una estrategia moderna, es importante para mejorar la gestión pública de las autoridades, puesto que con ello se permite a la ciudadanía participar en la toma de decisiones y velar porque se cumplan con los derechos ciudadanos por parte de las autoridades, dejando de lado los compromisos políticos al momento de ejecutar el presupuesto institucional.

3. ¿Cuál es el nivel de importancia de la veeduría y control social para la administración y gestión pública del GAD Cantonal?

Tabla 3: Nivel de importancia de la veeduría y control social para la administración y gestión pública

ITEM	VARIABLE RELATIVA	VARIABLE DISCRETA
Muy alto	71	28%
Alto	84	33%
Regular	43	17%
Bajo	54	21%
Total:	252	100%

Fuente: Encuesta a habitantes de Cantón Chambo
Elaborado por: Grupo Investigador

Gráfico 3: Nivel de importancia de la veeduría y control social para la administración y gestión pública



Fuente: Tabla N° 14
Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Un 33% de la población reconoce que el nivel de importancia de la veeduría y control social es alto, mientras el 28% indica que este es muy alto, el 17% anota que es regular y el 22% indica que es bajo.

Interpretación

La veeduría y el control social es muy importante para mejorar la calidad de la gestión pública, por lo que debe ser implementado en el GAD Cantonal de Chambo.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez aplicada la encuesta a 252 habitantes del cantón Chambo, se procedió a tabular los datos y se graficó los mismos en esquema de pastel para proceder al correspondiente análisis e interpretación de resultados

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa de Microsoft Excel en el cual se tabularon los datos obtenidos en las encuestas estableciendo luego las correspondientes conclusiones y recomendaciones.

4.1. Planificación estratégica del Modelo de Gestión

Misión

Promover el ejercicio de los derechos ciudadanos mediante la toma compartida de decisiones entre el Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Chambo y la ciudadanía para una gestión democrática que garantice la transparencia y rendición de cuentas sobre el manejo de los recursos públicos.

Visión

Constituir un organismo promotor del fortalecimiento de la democracia participativa en el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Chambo, como modelo de desarrollo económico y social que recoge las opiniones, puntos de vista y propuestas de la ciudadanía para la planificación, ejecución, seguimiento, evaluación y contraloría social, a partir de los objetivos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón.

Valores

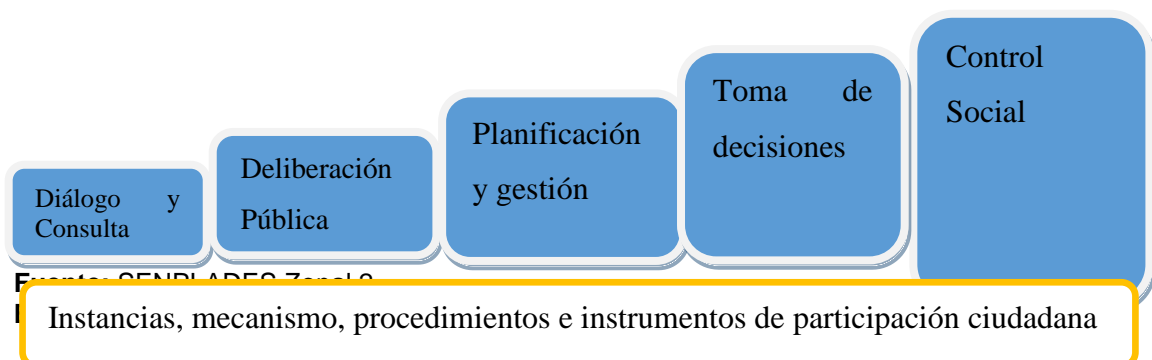
- **Ética Ciudadana:** Respeto de sus deberes y derechos, mediante un proceso de construcción de poder ciudadano al servicio de la colectividad.
- **Participación:** Promover la participación ciudadana en todas las instancias de ejecución y control del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chambo.
- **Igualdad de oportunidades:** Garantizar la participación ciudadana en las diferentes instancias del control social erradicando cualquier forma o manifestación de discriminación política, étnica, religiosa, ideológica, ética, de género, o de cualquier otra naturaleza.
- **Transparencia:** Permitir el acceso libre y voluntariamente a la información pública, promoviendo sistemas de difusión y promoción de las acciones desarrolladas por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, a fin de que las/los ciudadanos conozcan de fuente primaria sobre la gestión pública y juzguen la actuación de sus representantes.
- **Cogestión y corresponsabilidad:** Compartir con la ciudadanía la gestión institucional de manera solidaria e informada de los diversos programas, proyectos, obras y servicios programados por el gobierno local y la sociedad civil para impulsar el desarrollo de sus comunidades.

- **Tolerancia:** Garantizar el respeto a la diversidad de opiniones, manifestaciones y acciones mediante el análisis, discusión y toma de decisiones en consenso entre la institución y la ciudadanía para la construcción de objetivos comunes.
- **Solidaridad:** Empezar acciones de solidaridad y reciprocidad entre todos los actores sociales ante situaciones y conflictos que pudieren la paz y el desarrollo social del cantón.
- **Equidad:** Considerar a todos los sectores del cantón para incluirlos en los procesos de gestión relacionados con información, consulta y toma de decisiones de interés general.
- **Eficiencia y Eficacia:** Asegurar el uso óptimo de los recursos técnicos, materiales y financieros de manera responsable y adecuada a la lógica de gestión pública moderna y a las demandas de la ciudadanía.

4.2. Fases, instancias, mecanismos y procedimientos de Participación Ciudadana

Este paso comprende las diferentes instancias locales de participación que se implementarán en el Modelo de Gestión basado en el Sistema de Participación Ciudadana para el Cantón Chambo, y se basa en lo que determina el Artículo 72 de la Ley Orgánica de Participación Ciudadana.

Gráfico 4: Fases, mecanismos y procedimientos de Participación Ciudadana



- **Diálogo y consulta.-** Para activar el Sistema de Participación Ciudadana en las acciones del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, se debe tomar en cuenta la participación ciudadana a través de la Asamblea Ciudadana propiciando el diálogo entre las autoridades del GAD Cantonal y los actores sociales internos y externos, conforme lo señala el Art. 3, literal g del COOTAD, a fin de dialogar y consultar a los mismos respecto del diseño de políticas públicas que incidan en la calidad de vida de la población, tomando en consideración que la ciudadanía es la base sobre la cual se construye el Modelo de Gestión basado en el Sistema de Participación Ciudadana.

El espacio de dialogo y consulta permite a la ciudadanía interactuar con la autoridad local para tratar temas específicos respecto a ecología ambiental, economía, espacio socio cultural, asentamientos humanos, redes y conectividad, para mediante el análisis de la realidad local y

posterior toma de decisiones luego de la deliberación pública de los mismos. Siendo un espacio de reflexión y propuesta, la ciudadanía podrá auto convocarse o serán convocados por la Asamblea de Participación Ciudadana o el Alcalde del Cantón según el interés e importancia que los temas y la realidad lo demanden.

A fin de facilitar la participación ciudadana el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, deberá propiciar que todos los actores sociales comprometidos con el desarrollo del cantón: autoridades electas, representantes del régimen dependiente y representantes de la sociedad participen de este Modelo de Gestión, para lo cual el Alcalde del cantón Chambo, en su calidad de máxima autoridad deberá convocar a los delegados designados prioritariamente por la Asamblea Ciudadana Local cuando se requiera su intervención, pero no menos de tres veces al año conforme lo determina el Art. 65 de la Ley Orgánica de Participación Ciudadana.

- **Deliberación pública.-** La Constitución de la República establece que la ciudadanía tiene derecho a participar en todos los asuntos de interés público, por lo cual, ciudadanas y ciudadanos, de manera individual o colectiva, pueden ser protagonistas en la toma de decisiones, planificación y gestión de los asuntos públicos, y en el control social del Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Chambo, para lo cual la Asamblea Ciudadana debe promover la deliberación pública conjuntamente con las autoridades en temas que incidan en la prestación de servicios y la gestión pública, garantizando la pluralidad, interculturalidad e inclusión de las organizaciones sociales y de la ciudadanía.
- **Planificación y gestión.-** La elaboración de planes y políticas públicas locales, definición de la agenda de desarrollo, elaboración del presupuesto, establecimiento de mecanismos de rendición de cuentas, ejecución de control social y generación de procesos de comunicación entre el GAD Cantonal y la sociedad se aplicará lo que determina el Art. 72 de la LOPC, sin desestimar que algunas de estas funciones tienen carácter obligatorio y deben ser implementadas por la máxima autoridad del GAD Cantonal.

Para la priorización del gasto, elaboración y aprobación del anteproyecto de presupuesto, se deberá contar con una resolución de la Asamblea Ciudadana o el organismo establecido por el GAD como máxima instancia de participación. (arts. 238-242 del COOTAD).

Para definir las necesidades de la población y priorizar la atención a las mismas, el GAD Cantonal conjuntamente con su equipo técnico y el apoyo de la Asamblea Ciudadana priorizará las zonas de intervención, considerando como punto central para el efecto, la división política administrativa, desde una visión que integre variables poblacionales, territoriales, organizativas, culturales y de equipamiento de servicios para la inversión municipal.

Al efecto la definición de zonas se realizará considerando el número de sectores en función de cinco sistemas: Ecológico Ambiental, Económico, Socio Cultural, Asentamientos Humanos, Redes y Conectividad, considerando para el efecto la equidad e imparcialidad en la toma de decisiones.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, deberá definir los mecanismos y procedimientos necesarios para elaborar anualmente el presupuesto participativo, según lo determina la Ley, todo ello en el marco de sus competencias y prioridades definidas en los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial.

- **Toma de Decisiones.-** Para la ejecución presupuestaria respecto de lo planificado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Chambo, la decisión de priorización de los planes y proyectos a desarrollarse deberán ser decididos conjuntamente entre la autoridad municipal, los técnicos de la entidad y los representantes de la sociedad civil que conforman la Asamblea Ciudadana, al igual que las acciones que deban emprenderse para atender situaciones que atañan al Buen Vivir de la colectividad.

Al efecto, una vez aprobada la proforma presupuestaria de la institución, los responsables de los programas, subprogramas o proyectos conjuntamente con las Unidades de Planificación y Financiera prepararán el plan de ejecución y desarrollo de actividades para ponerlo a consideración del Alcalde, quien una vez que lo reciba y analice lo expondrá ante la Asamblea Ciudadana para que como máxima instancia de participación y posteriormente pueda dar seguimiento al mismo. Debe destacarse que esta planificación debe ser coherente con el plan de desarrollo y de ordenamiento territorial.

- **Control Social.-** El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo como entidad pública que recibe recursos económicos del Gobierno Central y además genera y recauda recursos propios, tiene la obligación de implementar procedimientos que permitan a la ciudadanía a través de sus delegados acceder a la información para establecer la transparencia en el manejo de los recursos públicos y la correcta rendición de cuentas sobre la gestión de sus autoridades y la utilización de los recursos.

4.3. Asamblea Ciudadana

El Art. 56 de la Ley Orgánica de Participación Ciudadana determina que la Asamblea Ciudadana es el espacio que tiene la ciudadanía para deliberar, fortalecer e interactuar con las autoridades. Para el efecto el GAD Cantonal desarrollará su sistema de participación

ciudadana sin desconocer otras instancias de participación y se conformará con representantes de todos los actores sociales de la localidad y delegados de las asambleas parroquiales además de representantes de barrios, recintos, comunas y comunidades.

La Asamblea Ciudadana deberá caracterizarse por:

- Garantizar, los principios de: democracia, equidad de género, generacional, alternabilidad y rendición de cuentas; que deben plasmarse en sus propios reglamentos o estatutos, de acuerdo a la ley (art. 58 de la LOPC).
- Identificar y convocar a los actores sociales de su territorio, a través de organizaciones sociales, identidades territoriales, temáticas, y ciudadanía en general, para la conformación de la Asamblea Ciudadana, (art. 57 de la LOPC).
- Asignar los fondos necesarios para el funcionamiento de la Asamblea en base a los criterios establecidos en la ley correspondiente, (art. 63 de la LOPC).
- Promover la capacitación y formación ciudadana e impulsar procesos de comunicación Estado-sociedad, (art. 100 de la Constitución).
- Promover la elección de tres representantes ciudadanos al Consejo de Planificación local (art. 28 del COPFP).
- Conocer las propuestas de agendas de desarrollo, planes, programas y políticas públicas, que realice la Asamblea, para la deliberación y toma de decisiones (arts. 60 y 57 de la LOPC).
- Atender los mecanismos de rendición de cuentas que adopte la Asamblea, a la gestión pública, ajustados a la ética y la ley (art. 60 de la LOPC).
- Acoger a los delegados designados por la Asamblea para poner en función todos los mecanismos, procedimientos e instancias de participación ciudadana implementados en el GAD (art. 65 de la LOPC).
- Promover por parte del Presidente del Consejo de Planificación la representación técnica a la Asamblea Ciudadana, para lograr la articulación y comunicación entre ésta y el GAD, conforme lo determina el Art. 29 del COPFP).

4.4. Funciones de la Asamblea Ciudadana (Asamblea Nacional, 2010, pág. 17)

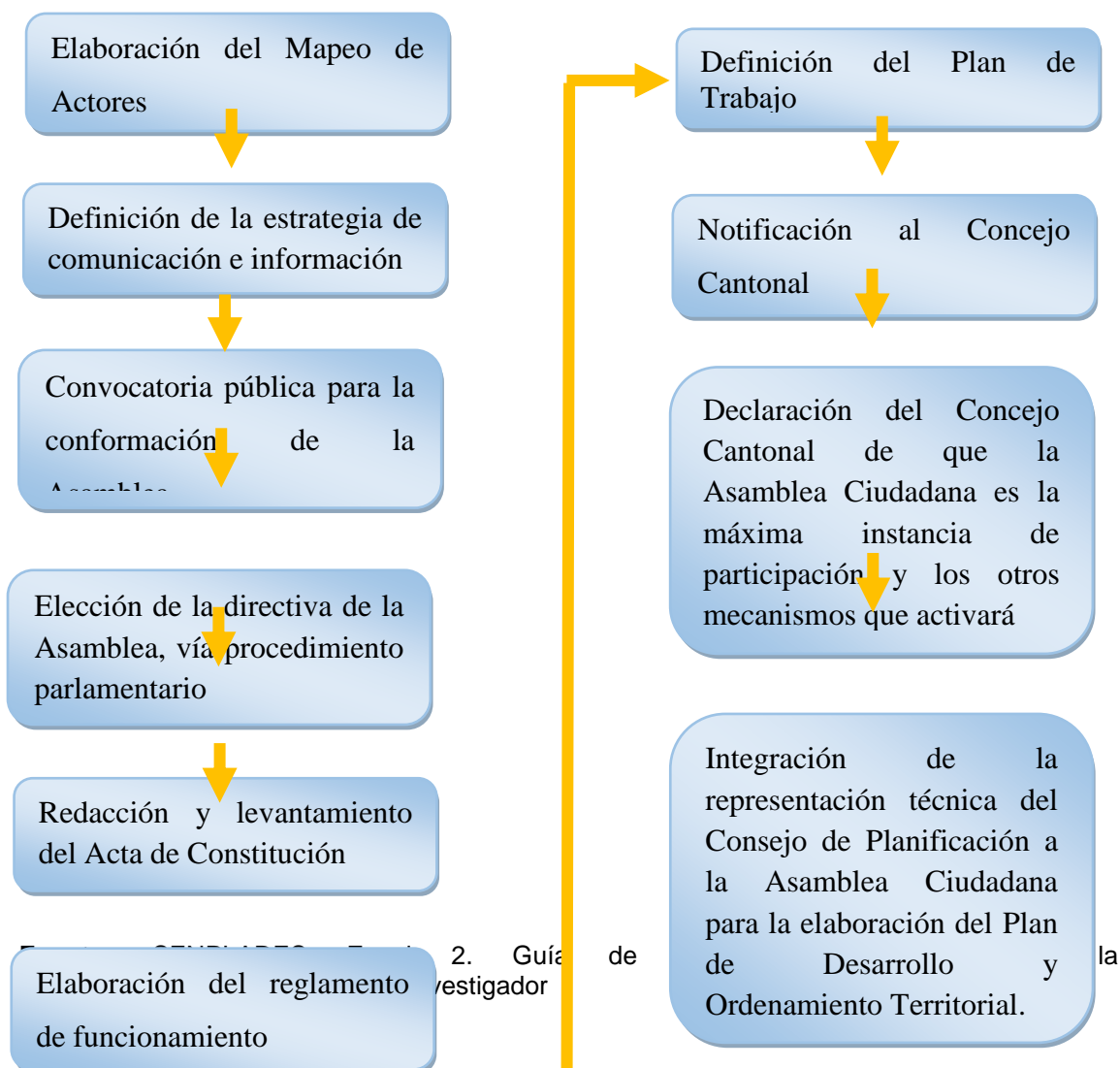
La Asamblea Ciudadana, en cumplimiento de lo que determina el Artículo 60 de la Ley Orgánica de Participación Ciudadana tendrá, entre otras, las siguientes responsabilidades:

1. Respetar los derechos y exigir su cumplimiento, particularmente, en lo que tiene que ver con los servicios públicos, por pedido de la mayoría simple de sus integrantes;
2. Proponer agendas de desarrollo, planes, programas y políticas públicas locales;
3. Promover la organización social y la formación de la ciudadanía en temas relacionados con la participación y el control social;
4. Organizar, de manera independiente, el ejercicio de rendición de cuentas al que estén obligadas las autoridades electas;
5. Propiciar el debate, la deliberación y concertación sobre asuntos de interés general,
6. Ejecutar el correspondiente control social con sujeción a la ética y bajo el amparo de la Ley» (LOPC, 2010: 31).

4.5. Estructuración de la Asamblea Ciudadana

La Asamblea Ciudadana del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo se estructurará de la siguiente manera:

Gráfico 5: Proceso de estructuración de la Asamblea Ciudadana Local



4.6. Mecanismos de Participación Ciudadana

A continuación se describen los mecanismos de Participación Ciudadana a implementarse en el GAD Cantonal de Chambo:

- a) **Audiencias públicas.-** Es la instancia de participación habilitada por la autoridad del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, ya sea por iniciativa propia o a pedido de la ciudadanía, para atender pronunciamientos o peticiones ciudadanas y para fundamentar decisiones o acciones de gobierno. Las audiencias públicas serán convocadas obligatoriamente, en todos los niveles de gobierno.
- b) **Cabildos populares.-** Es una instancia de participación cantonal para realizar sesiones públicas de convocatoria abierta a toda la ciudadanía, con el fin de discutir asuntos específicos vinculados a la gestión municipal.

- c) Silla vacía.-** Es la instancia que activa el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo en sus sesiones públicas, en la que se dispondrá de una silla vacía que será ocupada por una o un representante, varias o varios representantes de la ciudadanía, en función de los temas que se van a tratar, con el propósito de participar en el debate y en la toma de decisiones. En las asambleas locales, cabildos populares o audiencias públicas, se determinará el/los ciudadanos/ ciudadanas que deberán intervenir. La o las personas acreditadas lo harán con voz y voto. En el caso de que representen posturas diferentes, se establecerá un mecanismo para consensuar. Si no se lograra un consenso, solo serán escuchadas sus posturas sin voto.
- d) Veedurías.-** Son mecanismos de seguimiento, vigilancia, fiscalización y control social de la gestión pública, de las personas naturales o jurídicas que manejen fondos públicos, presenten servicios públicos o desarrollen actividades de interés público, para conocer e informarse monitorear, opinar, presentar observaciones, antes, durante o después de la ejecución de los planes, programas y proyectos o acto administrativo, y exigir rendición de cuentas. Son de carácter cívico, voluntario y proactivo.
- e) Observatorios.-** Se constituyen por grupos de personas u organizaciones ciudadanas que no tengan conflicto de intereses con el objeto observado. Tendrán como objetivo elaborar diagnósticos, informes y reportes con independencia y criterios técnicos, con el objeto de impulsar, evaluar, monitorear y vigilar el cumplimiento de las políticas públicas.
- f) Consejos consultivos.-** Son mecanismos de consulta, asesoramiento y orientación especializada compuestos por organizaciones de la sociedad civil, públicas o privadas, nacionales e internacionales, debidamente acreditadas que brindan asesoría técnica metodológica. Pueden ser universidades, institutos, grupos colegiales, fundaciones, etc. Las autoridades o las instancias mixtas o paritarias podrán convocar en cualquier momento dichos consejos.
- g) Consulta previa.-** Se reconocerá y garantizará a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, el derecho colectivo a la consulta previa, libre e informada. Cuando se trate sobre planes y programas de prospección, explotación y comercialización de recursos no renovables, ellos, a través de sus autoridades, participarán en los beneficios; y recibirán indemnizaciones por perjuicios sociales, culturales y ambientales. La consulta la deben realizar las autoridades competentes.
- h) Consulta ambiental a la comunidad.-** La comunidad deberá ser consultada sobre toda decisión o autorización estatal que afecte su ambiente, previo una información amplia y oportuna. El sujeto consultante será el Estado, quien valorará la opinión de la comunidad, según la Constitución, Leyes e Instrumento Internacionales de Derechos Humanos.
- i) Rendición de cuentas.-** Es un proceso sistemático, deliberado, interactivo y universal, que involucra a autoridades, funcionarias y funcionarios, o sus representantes y representantes legales, según sea el caso, que están obligadas u obligados a informar

y someterse a evaluación de la ciudadanía por las acciones u omisiones en el ejercicio de su gestión y en la administración de recursos públicos. Las ciudadanas y ciudadanos, en forma individual o colectiva, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, pueblos afro ecuatoriano y montubio, y demás formas lícitas de organización, podrán solicitar una vez al año la rendición de cuentas.

- j) Presupuestos participativos.-** Es el proceso mediante el cual las ciudadanas y ciudadanos participan voluntariamente en la toma de decisiones respecto de los presupuestos. Su implementación es inmediata y obligatoria para que el debate se lleve a cabo dentro de los lineamientos del PDOT elaborado por el Consejo Local de Planificación del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, siendo deber del GAD formular los presupuestos anuales, y está obligado a brindar información y rendir cuentas de los resultados de la ejecución presupuestaria.

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- En el GAD del Cantón Chambo no se dan las facilidades para que la ciudadanía pueda acceder a la información institucional respecto de planes, programas y servicios brindados, lo que limita la capacidad de participación ciudadana en la toma de decisiones y auditoria social.
- Se incumple lo que señala el Código de la Democracia respecto de establecer e implementar la silla vacía en las reuniones del Concejo Cantonal, para permitir a la ciudadanía vigilar de cerca las actuaciones de sus representantes y la toma de decisiones, como también proyectar su nombre e imagen de manera positiva entre la población.
- Es limitada la participación de las organizaciones sociales en la elaboración de políticas públicas como una forma de gobernar junto al pueblo, incumpliendo además con el principio de igualdad en la gestión pública.



BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Arnoletto, E.(2014). *Hacia una gestión pública para un desarrollo sustentable*. Buenos Aires: Servicios Académicos Internacionales
- Asamblea Nacional Constituyente . (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito: ANC
- Augusto, B. (2006). *Metodología de la investigación para administración y economía*. México: Editorial Prentice Hall.
- Carrera, F. (2015). *La Participación Ciudadana y Control Social en Ecuador*.: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- CLAD. (25; 26 de Junio de 2009). *Carta Iberoamericana de Participación Ciudadana en la Gestión Pública. Estoril: Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado*.
- Cunill, N. (1991). *Participación ciudadana : dilemas y perspectivas para la democratización de los Estados latinoamericanos* . Caracas: CLAD.
- Díaz, N.(1997). *Gestión estratégica del cambio institucional (GECI)*. Quito: ISNAR.
- Fabio, V. (2003). *Qué ha pasado con la participación ciudadana en Colombia*. Bogotá: Fundación Corona.
- GAD CUENCA. (2013). *Modelo de Gestión Participativa del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca*. Cuenca: GAD Cuenca.
- García, R. (2010). *La gestión para resultados en el desarrollo*. México: : Banco Interamericano de Desarrollo.
- Hernández, S. & Pulido, A. (2011). *Fundamentos de Gestión Empresarial*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Hernandez, R. (2003). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Mera, A. (2010). *Ley Orgánica de Participación Ciudadana*. Quito: Consejo de Participación Ciudadana y Control Social.
- Munari, B. (2005). *Aspectos culturales y psicosociales*. México: UNAM.
- Ordóñez, H.(2005). *La Administración Pública* . Revista Judicial derechoecuador.com
- Pacheco, J., Castañeda, W., & Caicedo, C. (2004). *Indicadores integrales de gestión*. Bogotá: McGraw-Hill.

- Ramón, R. (2005). *Estrategias Gerenciales para la Pequeña y Mediana Empresa*. México: THOMSON.
- Ruiz, J. & López, J. (2004). *La gestión por calidad total en la empresa moderna*. México D.F.: Alfa Omega.
- Ruth, S. (2005). *Todo es teoría: objetivos y métodos de investigación*. Buenos Aires: Ediciones Lurniere S.A.
- Sánchez, I. (2007). *La nueva gestión pública: evolución y tendencias*. : Instituto de Estudios Fiscales España.
- Sartori, G. (1997). *Teoría de la Democracia*, Volumen 2. Madrid: Alianza Universidad.
- Sarzosa, P. (2010). *Tendencias de la Participación Ciudadana en el Ecuador*. Quito: SENPLADES.
- Schneider, C. (2007). *La Participación Ciudadana en los Gobiernos Locales: Contexto Político y Cultura Política, un análisis comparado de Buenos Aires y Barcelona*. Barcelona: Universidaad Pompeu Fabra.
- Schneider, C. (s.f.). *La Participación Ciudadana en los Gobiernos Locales: Contexto Político y Cultura Política, un análisis comparado de Buenos Aires y Barcelona*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2012). *La participación ciudadana para la vida democrática*. Quito: SENPLADES.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Quito: SENPLADES.
- Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa S.A.
- Tituaña, M. (2012). *Mecanismos de Participación Ciudadana y Control Social en los GADs Municipales*. Quito: AME.
- Democracy (4 de Marzo de 2009). *International Journal of Good Conscience*. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v4-n1/4\(1\)%20179-193.pdf](http://www.spentamexico.org/v4-n1/4(1)%20179-193.pdf)
- Sarzoza, P. (13 de Septiembre de 2010). *Tendencias de la participación*. Recuperado de <https://issuu.com/publisenplades/docs/tendencias-de-la-participacion>
- SCRIBD. (03 de enero de 2018). *Concepto de ciudadanía y estado*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/239838521/Concepto-de-Ciudadania-Estado>