

1. Introducción

1.1. Organización de la tesis

El incremento en el uso de imágenes médicas ha propiciado el desarrollo de herramientas que permitan aprovechar de la mejor manera posible la información obtenida, una de ellas es la denominada fusión de imágenes, la cual permite capturar datos provenientes de distintas modalidades en una sola.

Con esta tesis se busca desarrollar métodos que permitan visualizar esta información sin perder su identidad. Es así que en el primer capítulo se hace un breve recuento de distintas problemáticas relacionadas al manejo de varias imágenes, al igual que de conceptos relacionados a la propia fusión de imágenes. No obstante a lo largo de la tesis se citarán fuentes relevantes adicionales. Al final de este capítulo (sección 1.3) se encuentran los objetivos de este trabajo.

En el segundo capítulo se describen los materiales y el software utilizado, así como los métodos de fusión de imágenes multimodales empleados y sus particularidades; adicionalmente se amplía la información proporcionada relativa a la fusión, para un mejor entendimiento de estos métodos.

En el capítulo tres se concentran las pruebas realizadas con los métodos propuestos y los resultados obtenidos. En el capítulo cuatro se exponen las conclusiones y trabajo a futuro.

El anexo A trata sobre los espacios de color y las transformaciones entre ellos. En el anexo B se presenta una clasificación de distintos métodos de registro de imágenes médicas. En el anexo C es un pequeño instructivo para el uso del software SPM para el registro de imágenes.

1.2. Descripción del problema y antecedentes

En la actualidad las imágenes médicas se han convertido en parte fundamental del diagnóstico y estudio de diversas enfermedades, ya que en sus diferentes modalidades proporcionan información sobre la estructura, las propiedades físicas o funciones biológicas de los tejidos a los especialistas. Al poder ser utilizadas en distintas fases de la atención médica, desde la valoración inicial y diagnóstico, pasando por la planificación y aplicación del tratamiento, así como la posterior evaluación de la respuesta del paciente a éste; es bastante común que a lo largo del proceso se obtengan múltiples imágenes de un mismo sujeto en una o más modalidades, tales como las descritas en la sección 1.2.2.

Lo anterior conlleva a un aumento de la información y de las dificultades para controlar, clasificar y analizar los datos obtenidos, por lo que es necesario utilizar y desarrollar métodos que los relacionen, aporten información adicional y mejoren la precisión del diagnóstico.

Generalmente este proceso de integrar las imágenes es efectuado por el especialista [2], puesto que el sistema visual humano es capaz de realizar una “fusión mental” integrando e interpretando información de manera semejante a como funciona la visión en estéreo, con el riesgo de caer en errores de apreciación debido a limitaciones propias del sistema visual humano para juzgar adecuadamente relaciones espaciales entre imágenes, cuando éstas son vistas lado a lado [28], por lo cual es necesario recurrir a técnicas computacionales que proporcionan mayor precisión.

1.2.1. Fusión

Al conjunto de técnicas, cuyo objetivo es combinar información de distintas fuentes para mejorar u obtener información adicional, se les denomina fusión de datos [29].

Los términos, definiciones y conceptos asociados a estas técnicas pueden variar o ser usados indistintamente, según la interpretación dada en cada uno de los campos de aplicación y el tipo de datos involucrados [3].

1.2.1.1. *Fusión de imágenes*

De acuerdo a [14], la fusión de imágenes se refiere al proceso de combinar información relevante de múltiples imágenes de una escena en una sola imagen, más informativa que cada una de las imágenes de entrada por separado.

Estrictamente, al fusionar dos imágenes, de una misma o distinta modalidad, se obtiene una sola, que combina o mezcla la información de las imágenes participantes, perdiendo la identidad de cada una. Sin embargo, el término fusión ha sido usado con frecuencia para la combinación con fines visuales en que se puede distinguir cada imagen componente, en particular cuando las modalidades proveen información complementaria, como es el caso de las imágenes anatómicas (estructura y forma) y aquellas funcionales (fisiología, actividad metabólica, etc.). La imagen resultante utiliza colores, texturas, y otros medios, para representar ambas imágenes.

Debido a que en general la fusión de imágenes es utilizada en áreas tan dispares como la medicina, astronomía, detección remota, procesos de manufactura, imágenes satelitales, vigilancia y usos militares [3, 29], puede verse que la definición puesta al principio de esta sección es muy general, ya que los objetivos, las características de las imágenes y los datos involucrados varían de acuerdo al tipo de problema y aplicación. Es evidente la necesidad de acotarlos, ya que estos nos darán las pautas para el diseño y elección de los métodos de fusión a utilizar.

En nuestro caso, los datos de entrada serán imágenes médicas multimodales. Al provenir de distintas fuentes, se tiene el riesgo que al fusionarlas se obtengan resultados equivocados, debido a la falta de relación espacial entre ellas, así que es necesario pasarlas previamente por un proceso de alineación, o *registro*, en general.

1.2.1.2. *Registro*

Los diferentes estudios de imágenes que le hayan sido practicados a un paciente, pueden diferir en cuanto a escala, orientación y posición (fig. 1.1), no importando si pertenecen a la misma o a diferentes modalidades; por ello es necesario que se establezca una relación espacial entre ellas con el fin de poder compararlas, combinarlas, establecer correspondencias,

y que la información obtenida de su fusión sea correcta y por lo tanto útil y no conduzca a falsas interpretaciones [15].

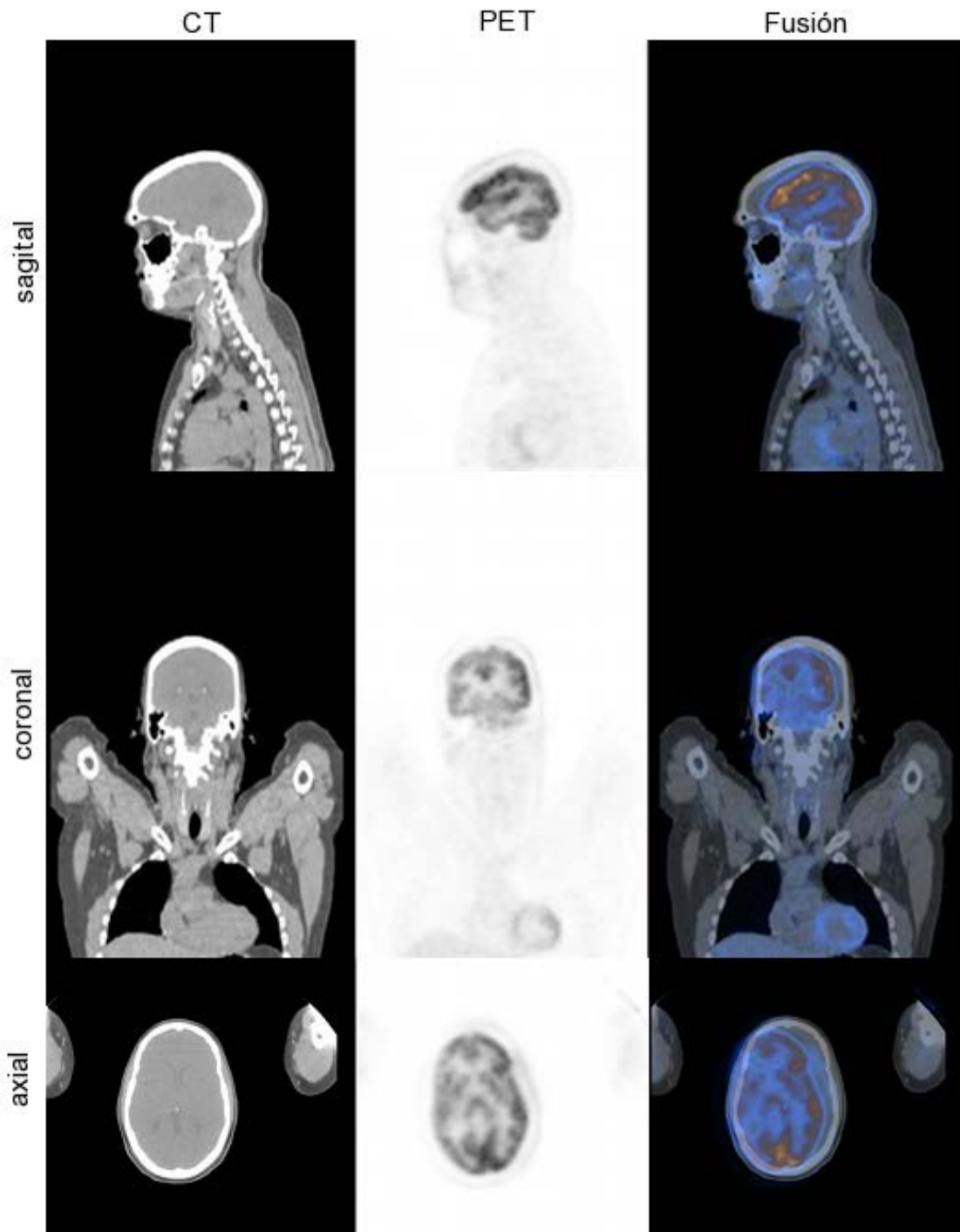


Fig. 1.1 Error de registro debido a cambios en la posición del paciente. Imágenes tomadas de [30].

Estas incongruencias siempre están presentes y pueden deberse a la misma naturaleza de las técnicas de adquisición, los estándares de manejo y representación de los datos [25], o por la posición del sujeto dentro del escáner ya que, dependiendo de la postura adoptada, la forma de ciertos órganos varía, especialmente los que se encuentra en la cavidad torácica, aunque en el caso del cerebro se considera que su forma permanece constante. También son causadas por cambios de posición del paciente durante el estudio (respiración, enfermedad, movimientos repentinos, etc.), además de provocar imágenes borrosas, alteraciones provocadas por alguna intervención quirúrgica o por el progreso de algún padecimiento.

El proceso mediante el cual se lleva a distintas imágenes de una escena a una misma alineación espacial se conoce como *registro* [21], el cual consiste en encontrar transformaciones geométricas que relacionen la información espacial presente en las imágenes de tal forma que un punto en una imagen corresponderá a un punto en particular en otra imagen [15].

Una vez establecida la correspondencia entre ambas imágenes, se puede continuar con la fusión. En este punto cabe mencionar que en varios trabajos al registro y fusión de imágenes se les agrupa como etapas de un mismo proceso, el cual es denominado *integración* [21, 33], o inclusive con el mismo término de *fusión* [9, 25]. Desafortunadamente, tanto estos tres términos, así como los de combinación, corregistro, correlación, *warping* o *matching* frecuentemente son usados indistintamente [29, 8] para referirse tanto a cada proceso individual como a un proceso total [2, 3, 18, 31, 34]. En este trabajo se trata de forma independiente a la fusión y al registro, y son definidos como se ha escrito anteriormente.

Como puede apreciarse el registro de imágenes es un tema bastante amplio, por lo que para fines de esta tesis, se tratará muy someramente y enfocándose exclusivamente en aquellos aspectos que consideremos útiles para el objetivo que planteamos.

1.2.2. Imágenes médicas

En el campo clínico actual, existen diversas técnicas de adquisición de imágenes, cada una enfocada en mostrar distintos aspectos del cuerpo humano. De acuerdo a la naturaleza de las propiedades representadas, las imágenes médicas pueden dividirse en dos clases principales: anatómicas y funcionales.

Las imágenes anatómicas son aquellas que proporcionan detalles morfológicos y características físicas básicas, como la densidad del tejido, mientras que las imágenes funcionales generan información fisiológica y de procesos metabólicos.

Dentro de la primera categoría se encuentran las imágenes por MRI (*Magnetic Resonance Image*, imagen por resonancia magnética), CAT (*Computed Axial Tomography*, tomografía axial computarizada) o CT (*Computed Tomography*, tomografía computarizada) y US (ultrasonido). Su principal característica es que muestran en alta resolución la anatomía de órganos sanos o con alguna alteración, así como otras anomalías estructurales, permitiendo identificarlas con precisión. A pesar de lo mencionado, se pueden tener problemas para diferenciar entre tejido sano y el que presenta alguna patología, como un tumor, debido a que la visualización del tejido está basada en variación de densidades, en propiedades magnéticas o en el realce del contraste, que no necesariamente son características específicas de los tumores; y por lo tanto también se dificulta determinar la extensión de un tumor si éste se encuentra rodeado de tejido con características similares a las observadas [26].

Las técnicas de PET (*Positron Emission Tomography*, tomografía por emisión de positrones), SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*, tomografía computarizada por emisión de fotones individuales) y fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*, resonancia magnética funcional) pertenecen al grupo de imágenes funcionales, las cuales proporcionan información acerca de procesos bioquímicos que ocurren en el sujeto durante un tiempo determinado [25], haciendo posible detectar anomalías en la función incluso antes de que los síntomas sean notorios; además permite diferenciar el tejido maligno mediante la visualización directa de su actividad. La principal desventaja de este tipo de imágenes, es su pobre resolución espacial y delimitación de estructuras anatómicas donde ocurre dicha actividad, lo que puede resultar en incertidumbres en cuánto a la localización exacta de anomalías.

Como puede verse, las modalidades anatómicas y funcionales resultan ser usualmente complementarias. Frecuentemente referencias anatómicas son necesarias para identificar con precisión zonas de activación presentes en las imágenes funcionales, o cambios biológicos no son detectados porque aún no han alterado la morfología. Por lo tanto, su combinación puede

mejorar los datos obtenidos y guiar a información no visible en las imágenes por separado, además de proveer un marco de referencia anatómico a la información funcional.

Actualmente existen nuevos sistemas de adquisición de imágenes denominados híbridos, porque reúnen en un solo equipo las adquisiciones de dos escáneres diferentes, generalmente PET y CT, permitiendo obtener en una sola sesión una imagen anatómica y una funcional, con movimiento mínimo por parte del paciente [31]. Sin embargo, aún es necesario resolver lo relativo a integrar adecuadamente ambas modalidades en una sola imagen.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar técnicas de fusión de imágenes multimodales (anatómicas y funcionales) del cerebro humano, que permitan visualizar en una sola imagen las características complementarias y contrastantes de las modalidades, con el fin de ayudar a los especialistas a obtener información médica relevante, extraer la que difícilmente es visible con las imágenes por separado y proporcionar referencias anatómicas a la información funcional. Una condición importante es que las técnicas de fusión que se estudien deben preservar la identidad de cada modalidad participante.

Estos métodos van orientados principalmente a que sean utilizados por especialistas en medicina, que no necesariamente tengan experiencia o estén habituados al uso de técnicas de procesamiento de imágenes, por lo que se busca que los métodos propuestos sean lo más perceptualmente claros y flexibles e implementarlos en una interfaz gráfica de usuario para facilitar su uso.

Por último, se intenta proporcionar un marco teórico general a los métodos propuestos, ya que la fusión de imágenes es un área del procesamiento de información mucho más amplia de lo que se presenta en este trabajo, es utilizada en distintos campos y se encuentra en constante evolución, provocando que terminología y métodos varíen de acuerdo a las aplicaciones.