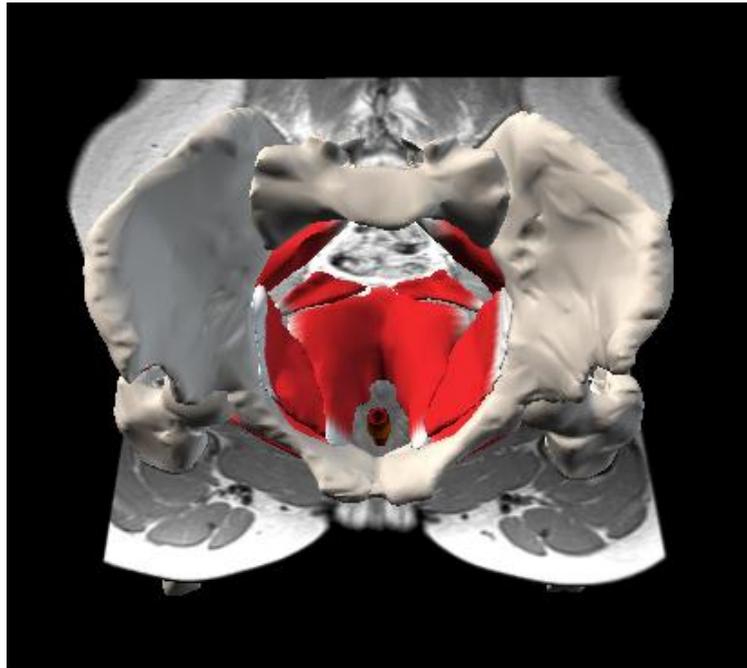




VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

Facultad de Medicina
Departamento de Anatomía e Histología Humanas



MODELIZACIÓN VIRTUAL DE LA PELVIS FEMENINA, A PARTIR DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA

Julia Martínez de Ibarreta Zorita

Tesis Doctoral

Salamanca - 2008



**UNIVERSIDAD
DE SALAMANCA**

D. JUAN ANTONIO JUANES MÉNDEZ, D. JOSE MANUEL RIESCO SANTOS, DOCTORES EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESORES DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA E HISTOLOGÍA HUMANAS DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA y D. ALBERTO PRATS GALINO, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA HUMANA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

CERTIFICAMOS :

Que el trabajo titulado “**MODELIZACIÓN VIRTUAL DE LA PELVIS FEMENINA A PARTIR DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNETICA** “, ha sido realizado por Dña. *Julia Martínez de Ibarreta Zorita*, bajo nuestra dirección; reuniendo, a nuestro juicio, los requisitos y méritos suficientes para que la autora del mismo, pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Y para que así conste, firmamos la presente certificación en Salamanca a once de junio de dos mil ocho.

F^{do}: Juan Antonio Juanes Méndez

F^{do}: José Manuel Riesco Santos

F^{do}: Alberto Prats Galino

***A Ricardo
A nuestro hijo Jaime***

***“Estar preparado es importante,
saber esperar es aún más, pero
aprovechar el momento
adecuado es la clave de la
vida”.***

Arthur Schnitzler

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Agradecimientos | 6 |
| Prólogo | 9 |
| Introducción | 12 |
| Los conocimientos anatómicos | 19 |
| Anatomía de la pelvis femenina | 19 |
| Pelvis ósea | 23 |
| Elementos viscerales | 26 |
| Suelo de la pelvis | 38 |
| La Anatomía de la pelvis femenina como base para la exploración física de la paciente | 43 |
| Examen de los genitales externos | 44 |
| Examen de los genitales internos | 46 |
| La resonancia magnética como técnica para el estudio de la pelvis y órganos pélvicos | 48 |
| Planteamiento del trabajo | 51 |
| Material y Métodos | 62 |
| A.- Material gráfico y documental | 63 |
| A1.-Adquisición y procesamiento de imágenes de resonancia magnética (IRM) | 63 |
| A2.-Modelos 3D | 65 |
| A3.-Material documental | 70 |
| B.-Implementación de la aplicación en el visor DirectX | 71 |
| Resultados | 77 |
| Sustrato óseo de la pelvis | 83 |
| Elementos musculares | 84 |
| Elementos viscerales | 86 |
| Iconografía de Resultados | 94 |
| Discusión | 130 |
| Conclusiones | 159 |
| Referencias Bibliográficas | 162 |



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento al Prof. D. Ricardo Vázquez Rodríguez, por su aceptación, seguimiento y por las facilidades prestadas en la unidad docente-investigadora que dirige, donde se ha llevado a cabo parte de este trabajo.

Igualmente, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a los Profesores Doctores D. Juan Antonio Juanes Méndez y D. José Manuel Riesco Santos, de la Universidad de Salamanca, y al Prof. Dr. D. Alberto Prats Galino, de la Universidad de Barcelona, directores de este trabajo de Tesis Doctoral, por su gran esfuerzo y acierto en la ejecución de este proyecto informático para el estudio tridimensional de las estructuras anatómicas de la pelvis femenina.

Especial mención y agradecimiento a la Dra. Monserrat España Pons y a al Prof. Dr. Xavier Iglesias del Instituto Clínico de Ginecología, Obstetricia y Neonatología del Hospital Clínico de Barcelona.

Al personal técnico de la empresa Desarrollos Informáticos ABADIA, de Madrid, por la implementación de la aplicación informática.

A Olga Fuentes, del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona, por su colaboración técnica.

Este desarrollo informático de la pelvis femenina virtual que presentamos ha contado con la financiación parcial de los Laboratorios Astellas, además de formar parte de proyectos subvencionados por la Generalitat de Catalunya (proyecto 2005MQD 00149) y por la Universidad de Barcelona (proyecto 2005PID-UB/22), para el desarrollo de aplicaciones informáticas de carácter docente.

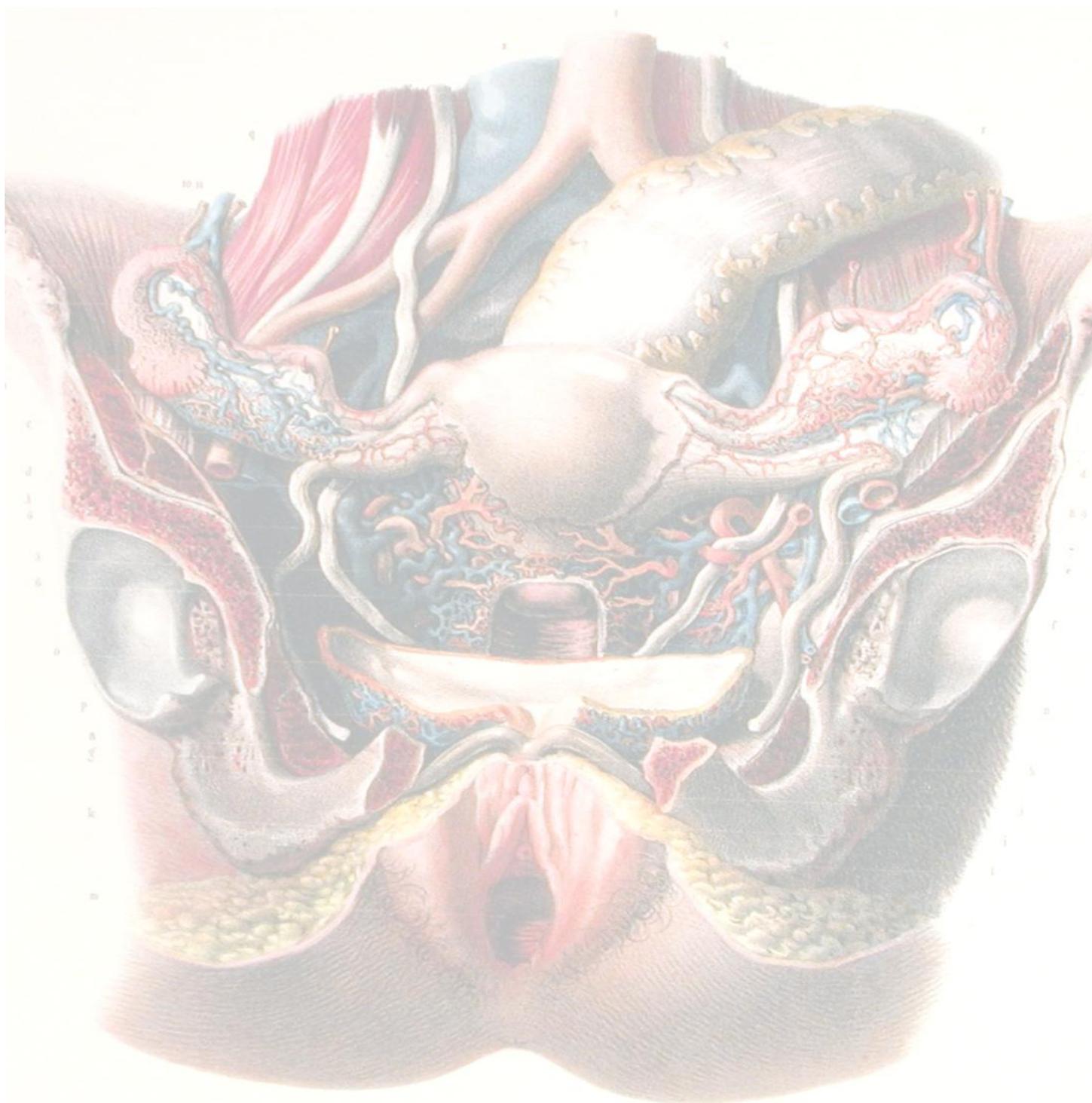
Deseo hacer extensiva mi gratitud a todos aquellos que de una forma u otra han colaborado en el desarrollo de esta Tesis Doctoral y sobre todo por la cesión de las imágenes radiológicas necesarias para nuestra Tesis. Así, quiero resaltar la desinteresada colaboración de muchos radiólogos que nos han ayudado en la identificación de estructuras sobre las imágenes de resonancia magnética, agradeciendo especialmente al Dr. Tomás Battle, del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Clínico de Barcelona.

No puedo dejar de agradecer a mi madre y hermanos, que al igual que en todos los proyectos de mi vida, han estado ayudando y alentándome para que éste también llegara a buen fin. Mención aparte a mi padre, que desde el Cielo sigue actuando de ángel protector.

Y por supuesto, a Ricardo, mi apoyo y bastión en los momentos de desaliento y a nuestro hijo que me ha estado acompañando en mis últimos meses de preparación de la Tesis, siendo la alegría, la ilusión y el acicate para la culminación de este proyecto.

A todos mis amigos que, de alguna manera, me alentaron y se interesaron para que esta Tesis fuera terminada.

A todos, muchas gracias.



PRÓLOGO

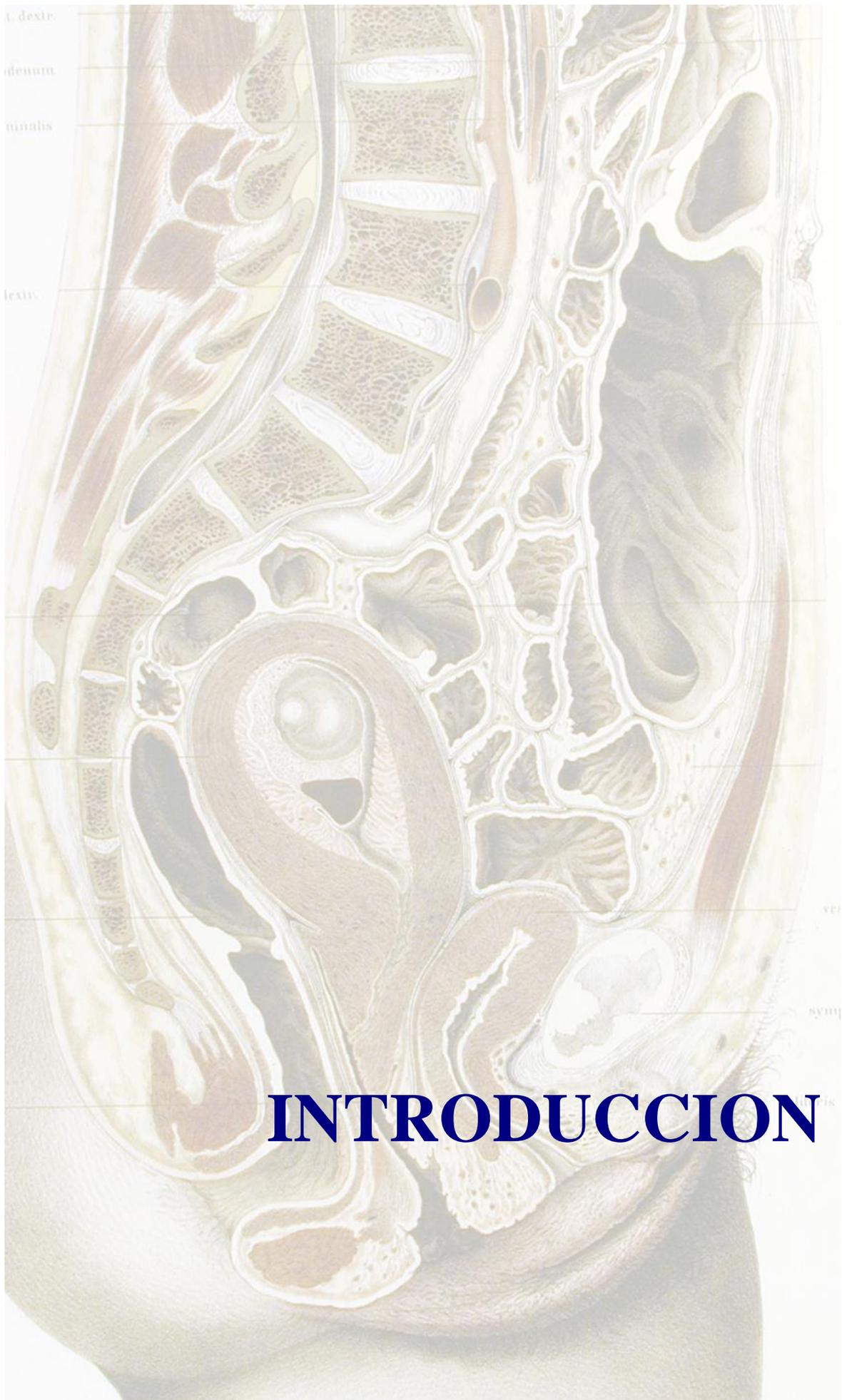
Una vez terminada la carrera de Medicina es nuestro sino adentrarnos en el mundo de la oposición para poder desarrollar nuestra gran ansiada faceta asistencial y, para ello, durante algún tiempo debimos aislarnos del mundo circundante. Después, tras varios años de dedicación asistencial exclusiva, se me ha brindado la posibilidad de poder empezar a realizar mis primeras incursiones en el terreno de la investigación y de la docencia.

Durante el desarrollo de mi carrera profesional, siempre he tenido especial interés por el área de la Ginecología. Gracias al Departamento de Anatomía e Histología Humanas de la Universidad de Salamanca, pude ponerme en contacto con diversos proyectos de investigación, uno de los cuales llamó especialmente mi atención y fue motivación suficiente para incorporarme a un proyecto de gran esfuerzo y dedicación que ha culminado con el desarrollo de mi Tesis Doctoral: *“Modelización virtual de la pelvis femenina a partir de imágenes de Resonancia Magnética”*.

Para este proyecto se han necesitado los sistemas más avanzados y de última generación en desarrollo y reconstrucción de imágenes informáticas, lo que ha generado mi necesidad de ampliar conocimientos en otros terrenos tan alejados de la Medicina como tan necesarios y cada día más presentes en nuestra actividad laboral diaria.

Este Trabajo ha permitido también incentivar mi faceta docente, que ahora desarrollo dentro de un Servicio Hospitalario, como es la Tutoría de Residentes Intrahospitalarios de Medicina Familiar y Comunitaria.

Aunar el esfuerzo de investigación con el plano docente, oferta la posibilidad de optimizar recursos en el desarrollo de la Docencia Universitaria y de Postgrado tanto a nivel de profesorado como de alumnos.



INTRODUCCION

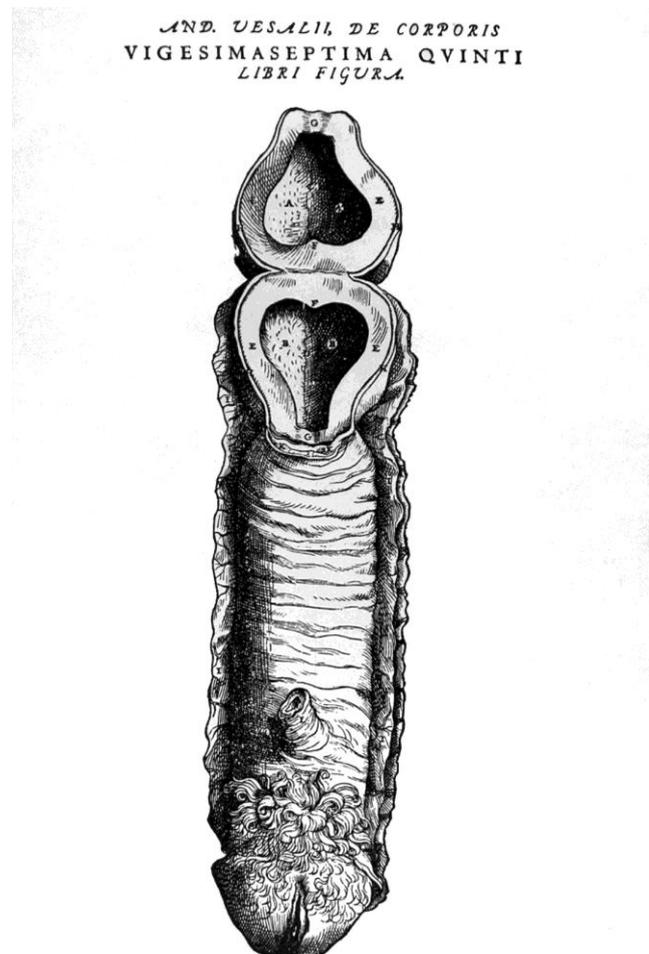
Una de las regiones anatómicas de nuestro organismo más difíciles de estudiar en el individuo vivo, como también sucede en el cadáver, es la pelvis y, aún más, la pelvis femenina.

La región pélvica femenina se caracteriza por contener órganos de morfología irregular (recto, útero, vagina y vejiga) y estructuras de soporte, aponeurosis y músculos del suelo pélvico, situados en diferentes planos. Dichas estructuras son difíciles de representar y comprender a partir de esquemas reproducidos en dos dimensiones (2D) y, además, los estudios anatómicos hechos en cadáver, se han llevado a cabo sabiendo que existen cambios post-mortem de gran trascendencia, pues alteran la forma de los espacios anatómicos, así como las diferentes relaciones entre los órganos pélvicos.

El estudio de la pelvis femenina, como el resto de órganos y aparatos del cuerpo humano, ha ido evolucionando de acuerdo con los formatos y las tecnologías disponibles para la transmisión de conocimientos. Si hasta el Renacimiento el estudio de la Anatomía era eminentemente empírico y basado en lecturas de obras clásicas, sin apenas ilustraciones, es a partir de Vesalio y de la invención de la imprenta cuando se produce el gran salto al formato anatómico, con la aparición de láminas e ilustraciones, en blanco y negro, donde se hace fiel traducción de los detalles anatómicos observados en las disecciones de cadáveres humanos, entre ellos los órganos pélvicos (Fig. I-1). La proliferación de ilustraciones en blanco y negro en los libros de Anatomía es considerable hasta el siglo XVIII, en las principales universidades del viejo mundo y con ellas el estudio de los órganos pélvicos femeninos (Fig. I-2). Con los avances tecnológicos y la revolución industrial

(empleo de tintes, grabados litográficos y perfeccionamiento en el trabajo de las imprentas), aparecen en el siglo XIX, no sólo ilustraciones sino también Atlas de Anatomía a todo color que mejoran la presentación, comprensión, reconocimiento y, por tanto, aprendizaje de las estructuras anatómicas, incluidas las pélvicas (Fig. I-3). En esta misma época surgen las representaciones planimétricas o bidimensionales que permiten recortar y montar en diversos planos el contenido de regiones corporales, entre ellas las pélvicas (Fig. I-4), con lo que se favorece la interactividad del discente para aprender y comprender las relaciones anatómicas de los órganos que estudia. En pleno siglo XX, la fotografía en color y la aparición de las diapositivas, permite un mayor realismo en el estudio de la Anatomía ya que puede plasmarse en papel fotográfico o en película positiva, las disecciones efectuadas en los cadáveres humanos, las cuales pueden retocarse mediante inyección de colorantes en órganos huecos o simplemente pintando externamente con tinta de diferentes colores las estructuras vasculares, nerviosas o tubulares, como el uréter (fig I-5).

En los últimos años del siglo pasado, la Anatomía ha participado del desarrollo tecnológico y cibernético y así han surgido ilustraciones, libros y atlas digitales, con gran



VIGESIMAESEPTIMAE FIGVRAE, EIVS- demiq; characterum Index.
PRAESENS figura uterum à corpore exemptum eamagnitudine refert, qua postremò Patavij disse-
Figura I-1: Andreas Vesalio: Figura 27 del libro V correspondiente a De humanis corporis fabrica, 1555 en la que aparece el útero, seccionado frontalmente, la vagina y la vulva.

interacción por parte de los usuarios y los programas digitales, de forma que los alumnos pueden rotar las imágenes, adicionar o sustraer planos y estructuras anatómicas, o encontrar hipertextos y material multimedia, siendo un ejemplo de esta versión digital del atlas anatómico, el programa Primal® (Fig. I-6).

Además, se han desarrollado sistemas que permiten automatizar el análisis de imágenes médicas, con el objetivo de servir de apoyo en el diagnóstico clínico, mediante la

reconstrucción y visualización en tres dimensiones (3D) de estructuras anatómicas; estos sistemas aportan una valiosa información que hace muy comprensible determinadas regiones, entre ellas la pélvica.

En este sentido, el trabajo que presentamos ha desarrollado una aplicación informática para la reconstrucción 3D de las estructuras anatómicas de la pelvis femenina y creemos que constituye la forma más clara e intuitiva de análisis morfológico.

Un gráfico 3D difiere de uno 2D principalmente en la forma en que ha sido generado; este tipo de imágenes se originan mediante un proceso de cálculos matemáticos sobre entidades geométricas tridimensionales producidas en un ordenador y cuyo propósito es conseguir una proyección visual en 3D para ser mostrada en una pantalla o un papel.

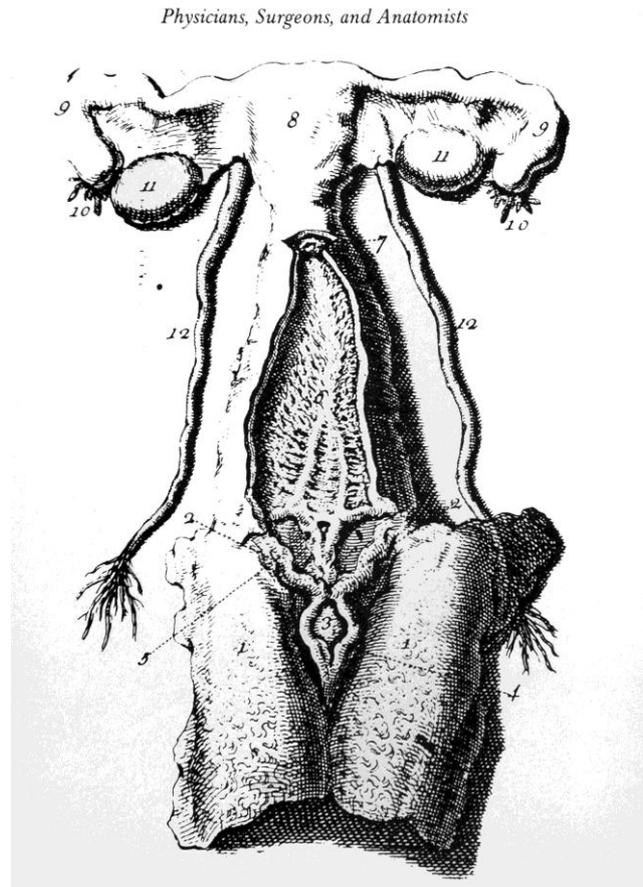


Figura I-2: Representación de una disección del aparato genital femenino impresa en el libro "The Anatomy of the human body" (Cheselden E, 1795).

El arte de las imágenes en 3D es similar a la escultura o fotografía, mientras que en 2D sería lo análogo a la pintura. En los programas informáticos hay ciertas aplicaciones 2D que utilizan técnicas 3D para alcanzar ciertos efectos, como la iluminación.

Este sistema de modelización virtual, sobre la pelvis femenina, puede ser de gran importancia en amplios y diversos campos, dentro de la práctica y de la docencia en Medicina:

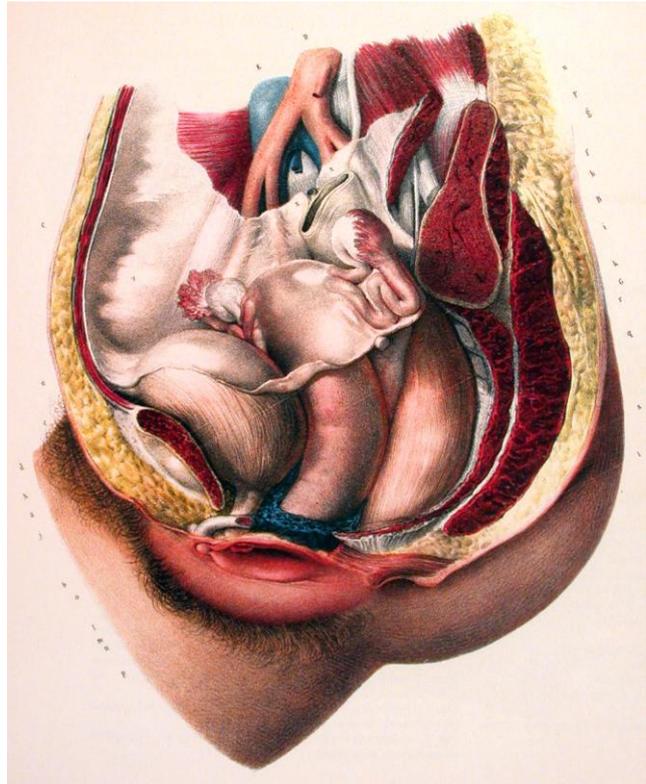


Figura I-3: Plancha 67 del Tomo V, correspondiente a vísceras pélvicas femeninas de la obra de JM Bourger y NH Jacobs, titulada Atlas d'Anatomie humaine et de chirurgie, publicada en Paris entre los años 1831 y 1854.

a.- Es un recurso para el diagnóstico clínico. Nos permite observar, por ejemplo, la pérdida de angulación en el músculo elevador del ano, en la incontinencia debida al estrés o la degeneración muscular de los músculos del suelo pélvico, que son parcialmente reemplazados por grasa y tejido conectivo o nos permite determinar lesiones que pueden sufrirse tras el parto vaginal, ya sea por la episiotomía, fórceps o por sistemas de vacío como las ventosas o para el diagnóstico de cistoceles, colpoceles, rectoceles, enteroceles, traumatismos o procesos tumorales.

b.- Facilita el abordaje quirúrgico ginecológico y urológico y sirve para comprobar los resultados en cirugías correctivas.

c.- Permite una mejor comprensión de diversos procesos fisiológicos, como la micción, ovulación, embarazo, etc.

d.- Es un gran recurso para la docencia universitaria, ya que se consigue una disección anatómica virtual; es útil tanto para el profesor como para el alumno.

Para la resolución de estos y de otros muchos problemas existen varios métodos diagnósticos, si bien todos ellos nos dan información fragmentada: examen físico, urografía, cistoscopia, radiografías simples o con contraste, entre otros. De todos los métodos destaca la resonancia magnética (RM), pues las imágenes obtenidas dan mayor información y, de manera conjunta, son mucho más sensibles que cada una de las pruebas anteriores, siendo capaz de detectar problemas que en los otros exámenes no se han captado. Sin embargo, solo con ella no se consigue tener una visión clara de las imágenes al no poderlas observar tridimensionalmente.



Figura 1-4: Reconstrucción planimétrica de la pelvis femenina a partir de láminas cromolitografiadas e incorporadas a la obra: "La generación Humana", de GJ Witkowski (1890). La superposición por planos de los órganos y estructuras pélvicas permite cierta interactividad con el alumno.

Al estar sustentado el trabajo que presentamos en la reconstrucción tridimensional de las estructuras pélvicas, basándose en imágenes de resonancia magnética personificadas en cada paciente, nos va a permitir estudiarlas mejor en su vertiente espacial, ver las posibilidades de aplicación

clínica y utilizar esta metodología para la docencia; nos parece que debemos, en primer lugar, analizar, de forma somera, los datos anatómicos de la pelvis femenina que encontramos en los diferentes libros de texto, para después pasar a comprobar la aplicación de estos conocimientos en la práctica clínica, compararlos con el estudio tridimensional y ver lo que podemos mejorar con la aplicación de este método. Creemos que posee diversas ventajas, como hacer el estudio particular en cada paciente, valorar mejor las relaciones de las diferentes estructuras pélvicas, los diámetros pélvicos, vías de acceso así como su utilidad en la práctica clínica de rutina y en su posible aplicación para la docencia. Ello lleva consigo el poder interpretar las imágenes de resonancia en las que está basada esta metodología.

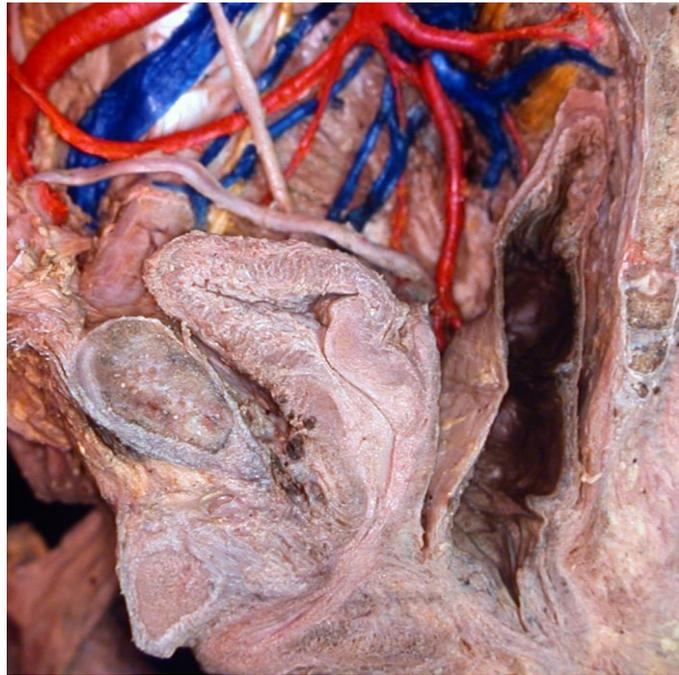


Figura I-5: Fotografía de una disección de la pelvis femenina, con coloración externa de vasos y nervios, procedente de la colección de imágenes del Dpto. de Anatomía y Embriología I de la Universidad Complutense



Figura I-6: Atlas digital Primal, correspondiente a las vísceras pélvicas femeninas, desarrollado a partir de cortes de RM, que permite, entre otras cosas, rotaciones y sustracción de imágenes. Distribuido en DVD-ROM (2008) y en bases de datos electrónicas mediante suscripción.

LOS CONOCIMIENTOS ANATÓMICOS

Son importantes por diversos factores y, valorando los objetivos del trabajo que presentamos, podemos afirmar que son totalmente necesarios, bien para la exploración física de la paciente o para aplicarlos en exámenes complementarios, fundamentalmente a la enorme batería de pruebas diagnósticas por imagen que están al alcance del médico.

ANATOMÍA DE LA PELVIS FEMENINA.

Los datos anatómicos han sido recopilados siguiendo diferentes y actualizados libros de Anatomía Humana, como son: Poirier y col., (1909), Orts Llorca (1967); Testut y Latarjet (1968), Williams y Warwick (1980); Romanes (1987); Platzer (1995); Pansky (1998); García Porrero y Hurlé (2005); Rouviere y Delmas (2005); Moore y Dalley (2007); Netter (2007), Amat y Smith-Agreda (2007). Sólo nos referiremos a aquellas estructuras anatómicas que después van a quedar reflejadas en nuestro trabajo.

La **pelvis** une las extremidades inferiores con el tronco y, aunque, similar a la cintura escapular en cuanto a la unión de las extremidades superiores al tronco, presenta profundas diferencias por la forma de unión, al constituir un anillo cerrado, o por su contenido, ya que contiene las denominadas vísceras pélvicas.

La pelvis es una amplia cavidad formada por huesos, ligamentos y músculos; esta cavidad se puede comparar con un embudo de boca ancha. La parte ancha del embudo se denomina pelvis mayor (corresponde al hueso iliaco) que se abre al abdomen, aunque separado de él por el peritoneo; su porción inferior se denomina pelvis menor, abierta hacia abajo, aunque obturada parcialmente por elementos musculares y fibrosos.

La **pared ósea** está formada por los huesos coxales, el sacro y el cóccix (coxis); los coxales configuran las paredes laterales y anterior de la pelvis, articulándose por delante mediante la sínfisis del pubis. El sacro y el cóccix,

unidos entre sí, forman su pared posterior; el sacro está articulado con los huesos coxales por sus caras laterales. Las articulaciones le dan a la pelvis una cierta elasticidad y permite un pequeño aumento de la cavidad en el momento del parto, mediante los movimientos de nutación y contranutación.

Los **ligamentos** de las paredes son, la membrana obturatriz, que ocluye casi en su totalidad el agujero obturador y los ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso; estos últimos ligamentos, junto con el borde posterior del hueso coxal, constituyen dos orificios por los que pasan estructuras hacia y desde la pelvis.

Junto a estos elementos, forman la pared pélvica, elementos musculares, como el músculo **piriforme** (o piramidal de la pelvis), que desde la cara anterior del sacro se dirige, pasando por el orificio ciático mayor en busca del trocánter mayor y el músculo **obturador interno**, que se inserta en los bordes del agujero obturador y sale de la pelvis por el orificio ciático menor, también en busca del trocánter mayor.

El **suelo pélvico** está integrado por el diafragma pélvico y el diafragma urogenital que después describiremos.

En su interior contiene numerosos órganos, las **vísceras pélvicas**: Vejiga y porción terminal de los uréteres, uretra, útero, vagina, trompas uterinas y ovarios, colon sigmoideo y recto.

Además, contiene otras estructuras, importantes todas ellas, como **vasos arteriales, venosos y linfáticos, elementos nerviosos**, pertenecientes tanto al sistema somático, como al vegetativo, así como **elementos aponeuróticos**. Al no ser objeto de nuestro trabajo, no nos extenderemos en su consideración.

La forma y el tamaño de la pelvis están condicionados por su función en el parto, pues constituyen el llamado *canal del parto*. Su orientación es muy

compleja; la abertura superior mira ligeramente hacia delante, mientras que la inferior es casi vertical.

En su interior presenta una zona estrechada, llamado estrecho superior de la pelvis, que la divide en pelvis mayor, por encima y pelvis menor, por debajo.

El estrecho superior se dispone en un plano oblicuo que, con la horizontal, forma un ángulo de 48° . Está formado el estrecho por una serie de estructuras, el promontorio por detrás, le sigue la línea arqueada de coxal y, hacia delante, la cresta pectínea y termina con el borde superior del pubis y espina (tubérculo) del pubis; todos estos accidentes determinan la línea terminal.

La pelvis mayor o pelvis falsa está formada por las alas del sacro y las fosas iliacas, tapizada por los músculos psoasiliacos y se continúa con el abdomen. La pelvis menor o pelvis verdadera, está por debajo de la línea terminal y está separada de la pelvis mayor por el estrecho superior.

Al ser la pelvis el canal del parto, debemos saber que presenta irregularidades o estrecheces que deben ser salvadas por el feto en el momento del parto. Existen tres planos en los que la pelvis es más estrecha y que tienen interés clínico; son: los estrechos superior, inferior y medio.

En cuanto al primero, son de interés clínico los diámetros antero posterior, el transversal máximo y los oblicuos. El anteroposterior se denomina diámetro conjugado anatómico o verdadero, y es el tomado desde el centro del promontorio hasta el borde superior de la sínfisis del pubis. Desde el punto de vista práctico es de mayor interés el llamado diámetro antero posterior obstétrico que se calcula desde el promontorio hasta la cara posterior de la sínfisis del pubis; mide unos 11 cm y es la parte más estrecha que debe superar el feto en el parto. También en la práctica se emplea el diámetro conjugado diagonal que es el diámetro antero posterior que se

extiende desde el promontorio y el borde inferior de la sínfisis del pubis; es ligeramente superior al obstétrico (de 1-2cm).

El diámetro transversal es la zona más amplia del estrecho superior y se mide desde las eminencias iliopectíneas; mide unos 13,5cm. Hay también diámetros oblicuos, que se calculan entre la articulación sacro iliaca de un lado y la eminencia iliopectínea del lado opuesto (mide unos 13 cm).

El estrecho medio de la pelvis corresponde a la pelvis menor y a un plano horizontal que pasa por las espinas isquiáticas. Es un lugar donde la cabeza fetal puede quedar atascada durante el parto. Dentro de este plano, la medida más pequeña es la transversal, entre las dos espinas y mide unos 10 cm.

El estrecho inferior de la pelvis es la zona estrecha inferior que debe atravesar el feto en el parto. En el se definen dos diámetros, uno antero posterior, entre el borde inferior de la sínfisis del pubis y el extremo inferior del sacro (9,5-11 cm) y el diámetro transversal que se extiende desde la cara interna de una tuberosidad isquiática hasta la otra y mide aproximadamente 11 cm.

También debemos incidir en detalles de la pelvis en relación con el sexo. Existen diferencias sexuales en la pelvis, siendo las más notables: la pelvis femenina es menos robusta; las eminencias rugosas, donde se insertan los músculos, están menos desarrolladas que en el hombre; las dimensiones transversales son mayores mientras que las verticales son menores; la inclinación también es mayor en la mujer; de hecho, durante el embarazo, la inclinación puede llegar a aumentar hasta 10º y tras el parto se endereza pero sin llegar a las medidas masculinas.

En la mujer, las fosas iliacas internas son más anchas y más inclinadas hacia fuera; las crestas iliacas menos sinuosas; el ángulo sacrovertebral es más pronunciado y más saliente hacia delante; el sacro más bajo y más ancho y la curva menos pronunciada; la pelvis menor más espaciosa, sobre

todo en anchura; la sínfisis del pubis más baja; la pared anterior de la pelvis menor más extensa transversalmente; el cuerpo del pubis más ancho y con las espinas más separadas; el arco del pubis con un ángulo más abierto en su parte superior; las ramas isquiopubianas con el labio interno más vuelto hacia fuera y los agujeros con forma más triangular; hay mayor separación de las cavidades cotiloideas y mayor oblicuidad de los fémures; más separación entre las escotaduras ciáticas mayores y en el estrecho inferior y la punta del cóccix queda por detrás del plano frontal biciático.

PELVIS ÓSEA

Anatomía de los huesos pélvicos.

Hueso coxal. El hueso coxal es un hueso plano, de contorno irregularmente cuadrilátero, muy escotado y estrechado en su parte media. En su cara externa se encuentra la cavidad cotiloidea o acetábulo por la que se une al fémur; por encima de ella se encuentra la fosa iliaca externa y por debajo está el agujero obturador o isquiopubiano. Su cara interna está dividida en dos amplios sectores por la línea arqueada, llamada también línea innominada o cresta del estrecho superior, que termina por delante en el pecten o cresta pectínea. Por encima de esta cresta se extiende la fosa iliaca interna; por detrás de esta fosa se encuentra una superficie rugosa, la tuberosidad iliaca, para la inserción de ligamentos y con una superficie articular en forma de C para el hueso sacro.

Posee este hueso cuatro bordes: superior, convexo, la cresta iliaca que termina en dos prominencias, las espinas iliacas anterior y posterior; borde anterior, muy irregular, con varios accidentes, como son, en su inicio, la espina iliaca antero superior, siguiéndole, hacia abajo y adelante, la escotadura innominada y la espina iliaca antero inferior; le sigue una escotadura para el paso del músculo iliopsoas y una eminencia iliopúbica o eminencia iliopectínea, a continuación se encuentra la superficie pectínea que contiene en su extremo la espina del pubis o tubérculo púbico; finaliza

este borde en el ángulo del pubis. El borde inferior está formado por dos segmentos, uno anterior que pertenece al pubis y parte desde el ángulo del pubis y otro posterior que es continuación del primero que pertenece al isquion y termina en una tuberosidad o tuberosidad isquiática; por último, el borde posterior se extiende desde la tuberosidad isquiática hasta la espina iliaca pósterosuperior y en él se diferencia una escotadura, innominada, la espina iliaca pósteroinferior, una amplia escotadura o isquiática mayor que se extiende hasta la espina isquiática y, antes de llegar a la tuberosidad isquiática, se sitúa la escotadura isquiática menor.

Los cuatro ángulos que marcan los bordes son: la espina iliaca anterosuperior, la espina iliaca pósterosuperior, la tuberosidad isquiática y la sínfisis del pubis, estructuras ya descritas.

Este hueso da inserción a 36 músculos, intra y extrapélvicos, algunos de los cuales consideraremos después.

Hueso sacro: es el resultado de la soldadura de cinco vértebras primitivas independientes. Se articula con cuatro huesos: por arriba con la quinta vértebra lumbar; por abajo con el cóccix; y por los lados con los dos huesos coxales. Es un hueso impar, medio y simétrico, situado en la parte posterior de la pelvis. Su dirección es oblicua de arriba abajo y de delante atrás y forma con la quinta vértebra lumbar un ángulo saliente llamado promontorio. Es mucho más voluminoso en la parte superior y tiene forma de pirámide cuadrangular.

La cara anterior es cóncava. Presenta en su línea media una columna ósea que es la superposición de los cuerpos vertebrales y está segmentada por cuatro líneas transversales y en su extremo se encuentran los agujeros sacros anteriores, cuatro a cada lado. Éstos se continúan por los canales sacros anteriores en los que discurren las ramas anteriores de los nervios sacros. Estos agujeros están separados por un tabique en el que se insertan los fascículos del músculo piramidal.

La cara posterior es convexa y presenta la cresta sacra en su línea media, que es la continuación de las apófisis espinosas de la columna lumbar. A cada lado de la cresta sacra se encuentran los canales sacros y los cuatro agujeros sacros posteriores a cada lado, que dan paso a las ramas posteriores de los nervios sacros.

Las caras laterales comprenden las carillas articulares, que se articulan con el hueso iliaco. Detrás de las carillas articulares se encuentra la fosa cribosa del sacro, con numerosos agujeros por donde pasan múltiples vasos. Al lado de la fosa se insertan los ligamentos sacroiliacos y los fascículos tendinosos de la masa sacrolumbar.

El conducto sacro recorre toda la altura del mismo y se continua por arriba con el canal raquídeo de la columna lumbar. Dentro del conducto sacro se encuentran alojados: el fondo de saco terminal de la duramadre raquídea, el *filum terminale* de la médula y los nervios que constituyen la cola de caballo. Estos nervios se introducen en los conductos laterales y se bifurcan en la rama anterior que sale por el agujero sacro anterior y en una rama posterior que sale por el agujero sacro posterior. El orificio superior del conducto sacro se comunica por el hiato sacrolumbar con el conducto raquídeo lumbar y el orificio inferior, forma el hiato sacrococcígeo.

Hueso cóccix (coxis). Es una pequeña pieza ósea triangular resultante de la fusión de varias vértebras coccígeas. En su base se puede reconocer el cuerpo de una vértebra muy rudimentaria, que sirve para articularse con el vértice del sacro. De él surgen dos apófisis, las astas del cóccix, restos de apófisis articulares que se unen con las astas del sacro; lateralmente presenta dos salientes, las astas laterales del cóccix, que representan las apófisis transversas. Debajo de esta vértebra se disponen, dos o tres nódulos óseos vestigios de otras tantas vértebras coccígeas.

ELEMENTOS VISCERALES

Vejiga de la orina.

Es un reservorio de la orina situado entre los uréteres y la uretra; se encuentra en la pelvis menor en su porción anterior, localizada por detrás del pubis y delante del recto, aunque en la mujer se interpone entre las dos estructuras citadas el cuello uterino y la vagina.

Su forma varía según el llenado que posea; si está vacía tiene forma de pirámide triangular y en ella diferenciamos: un fondo o base, que a su vez es la cara pósteroinferior con su vértice inferior dirigido hacia la salida de la uretra y por donde llegan los uréteres en su porción supero lateral.

El vértice es anterior, situado por encima del pubis y se continúa con el ligamento umbilical medio o uraco que asciende hasta el ombligo.

En el cuerpo destaca su cara superior es prismática triangular, con su parte ancha hacia atrás, continuándose con el fondo; hacia los lados se continúa con las caras inferolaterales.

La parte más declive es el cuello o zona donde la vejiga se continúa con la uretra.

La vejiga es infraperitoneal y solamente su cara superior está totalmente tapizada por peritoneo.

Uretra.

Es un conducto corto, de 3-4 cm, que se extiende desde el cuello de la vejiga hasta la vulva. Desciende por detrás de la sínfisis del pubis y por delante de la vagina a la que está adosada. Está rodeada por el músculo esfínter de la uretra y con él se encuentra en el periné anterior, desemboca en la vulva por el orificio uretral externo, a unos 2 cm por detrás del clítoris y por delante del orificio vaginal. Es necesario saber que, a veces, este orificio está discretamente hundido y hace difícil su localización para el sondaje. Su calibre es de unos 7 mm. Hay glándulas ureterales que, en su

porción distal se agrupan y desembocan a los lados del orificio uretral externo.

Recto.

El recto es la continuación del colon sigmoideo y se abre al exterior por el orificio anal. Se distingue del colon sigmoideo por su falta de meso, pero como localización anatómica se toma la parte caudal de la tercera vértebra sacra y su terminación en el ano. La longitud del recto puede oscilar entre 14 y 18 cm. Por la curvatura del sacrocóccix, el recto se divide en *pars pelviana* (11-15 cm) y *pars perineal* (3 cm). La *pars pelviana* a su vez se puede dividir en *pars craneal o sacralis* y *pars caudal o ampullaris* (muy distensible).

La *pars pelviana* ocupa la excavación pélvica y se subdivide en una parte *intraperitoneal*, donde existe un mesorrecto por el que llega el pedículo vascular con los vasos hemorroidales superiores, y otra *subperitoneal*, que corresponde a la mayor parte de la cara dorsal del recto, desprovista de peritoneo, ya que éste se refleja por delante y a los lados del recto para continuarse con el peritoneo parietal de la cara lateral de la pelvis.

Estas reflexiones peritoneales forman las fosas pararrectales y están ocupadas por asas del intestino delgado y/o por los ovarios en la mujer.

El peritoneo en la cara ventral del recto se refleja sobre el órgano situado delante, formando un fondo de saco, también denominado fondo de saco de Douglas; en la mujer, el órgano prerrectal es el eje útero-vagina. Dicho fondo constituye el punto más declive de la cavidad peritoneal.

Lateralmente, el peritoneo que recubre al recto forma las plicas rectovesicales o rectouterinas cuando se pliega lateralmente en el fondo de saco de Douglas.

La *pars subperitonealis* de la *pars pelviana*, está rodeada de tejido conectivo que se llama paraproctium. Entra en relación por su cara anterior

con la pared posterior de la vagina. Entre ellos existe el tabique rectovaginal, que no proviene de la soldadura de dos hojas peritoneales.

La *pars perineales o analis* del recto, es la porción situada por debajo del elevador del ano, rodeada de un esfínter muscular estriado; el esfínter externo, derivado del esfínter cloacal. El tono del esfínter es lo que hace que esta porción del recto no tenga luz, a excepción de cuando pasa el contenido fecal. Lateralmente se relaciona con la fosa isquiorrectal, por donde recibe la vascularización de la arteria pudenda interna.

Útero.

Es un órgano impar, medio y simétrico. La duplicidad de útero es resultado más bien de detención de desarrollo del conducto uterovaginal inicial, que de órgano supernumerario.

Se asemeja a un cono truncado, de base superior, y aplanado de adelante atrás. En la unión de los dos tercios superiores con el tercio inferior presenta una zona más estrecha, llamada istmo que lo divide en una parte superior, el cuerpo del útero, y una parte inferior, el cuello o cérvix uterino. El borde superior, que marca el fondo del útero, está tapizado por el peritoneo parietal inferior, mientras los bordes laterales se relacionan con los ligamentos anchos y están recorridos por los vasos uterinos.

El istmo, adquiere relevancia durante la gestación, en la que se distiende y pasa a llamarse segmento uterino inferior. Además constituye la zona de elección para llevar a cabo los partos por cesárea ya que al regresar, tras el parto, es la zona uterina donde queda menos cicatriz.

El cuello del útero, más estrecho y cilíndrico que el cuerpo está fijo por su inserción en la vagina que lo divide en una porción supravaginal y otra intravaginal; ésta muestra un aspecto en hocico de tenca con un orificio, variable en su morfología, que corresponde al orificio externo del útero.

Las dimensiones exteriores varían según sea el estado de la mujer nulípara (6-7 cm de longitud por 4 cm de anchura) o multíparas (7-8 cm

longitud por 5cm de ancho). Su peso también depende de si es nulípara: 40-50 g, o si es multípara: 60-70 g.

El útero posee gran movilidad, por lo que su posición se ve sometida a innumerables variaciones. En vivo la presión abdominal, la tonicidad propia del útero y la de los tejidos que lo rodean y sostienen, le dan una orientación muy diferente a la que se observa en el cadáver. El cuerpo y el cuello del útero forman un ángulo abierto hacia delante en dirección a la sínfisis púbica de 100-150°. El vértice de este ángulo está en la parte inferior del istmo. Es el punto más fijo del útero y centro aproximado de los ejes de movimiento de este órgano.

El útero en la mayoría de las ocasiones se encuentra en posición de anteversión (los conductos de Wolf y de Müller describen en época embrionaria un arco de concavidad anterior). No obstante puede haber distintas variaciones no patológicas en retroflexión y lateroflexión, según el estado de repleción o de vacuidad del recto y de la vejiga. Así mismo, el peso de las asas intestinales recae sobre la cara posterior del cuerpo uterino y tiende a exagerar la anteversión.

La posición media del útero y la capacidad de movimiento está asegurada por los elementos reguladores de la estática uterina o medios de fijación del útero: Ligamentos del útero y conexiones con el peritoneo: Ligamentos anchos (laterales), ligamentos redondos (anteriores) y ligamentos uterosacros (posteriores). Sistema de fijación del útero y de la cúpula vaginal a las paredes pélvicas: sistema transversal formado por el parametrio de Virchow, el ligamento transversal de Mackenroth y un sistema longitudinal constituyendo las aponeurosis sacrorrectovaginales de Delbet continuadas por las láminas pubovesicouterinas. Se originan por dentro de los agujeros sacro segundo y tercero y amarrando al paso al útero y a la cúpula vaginal, continúan hacia delante formando los ligamentos vesicouterinos y pubovesicales. Este tejido es condensado, fibroso, muscular y elástico; factor fundamental de la fijación uterina. Además, hay que incluir

el sistema de sostén formado por el músculo elevador del ano y los músculos del periné, aunque estas formaciones musculares estriadas no tienen inserción directa en el útero, sino que por debajo de él aseguran un sólido cierre a la parte inferior de la pelvis.

Ligamentos del útero y conexiones con el peritoneo:

Ligamentos Anchos (laterales): el útero está tapizado por su cara anterior y posterior por peritoneo; éste forma un tabique cuando se adhieren ambas hojas peritoneales y se dirige hacia la pared pélvica lateral y se continúan con el peritoneo parietal. El conjunto forma junto con el cuerpo uterino un vasto tabique transversal, que divide el peritoneo pélvico en dos compartimentos: uno anterior o vesical y otro posterior o rectal.

Estos ligamentos forman al útero una especie de meso que rodea las trompas y sirve de inserción a los ovarios. Contiene así mismo los vasos y nervios que se dirigen al aparato genital femenino. Cada ligamento forma un tabique del útero a la pared pélvica. Su espesor es delgado en el estrecho superior y a medida que se acerca al suelo pélvico, el espesor aumenta; las dos hojas peritoneales se separan y entre ellas y el suelo pélvico se desarrolla una capa importante de tejido celular que levantan los vasos y nervios del útero: es el *mesometrio o parametrio de Wirchow*. La parte superior forma tres cordones que divergen ligeramente y se denominan aletas anterior, superior o media e inferior. La aleta anterior está formada por el ligamento redondo; La aleta superior o media está constituida por la trompa. Sólo está tensa en la zona del cuerno uterino, de modo que la parte cercana a la trompa es muy móvil y permite al pabellón tubárico reclinarsse en todas direcciones. Esta parte constituye el meso de los anexos: mesosalpinx y mesoovario.

Contenido de los ligamentos anchos: la parte superior contiene la trompa, los ligamentos útero y tuboovárico y las ramificaciones de la arteria

tuboovárica. En el mesosalpinx existen restos embrionarios (paraoóforo, órgano de Rosenmüller) y a veces islotes de tejido ovárico e incluso cápsulas suprarrenales accesorias. Esto es importante porque pueden dar lugar a neoplasias. El ovario no está contenido en el ligamento ancho, el mesoovario se detiene en el hilio ovárico. La parte inferior del ligamento contiene la arteria uterina, el uréter, vasos venosos y linfáticos, así como las ramas anteriores del ganglio hipogástrico. El tejido celular se condensa alrededor de la arteria uterina y forma la porción genital de la vaina hipogástrica.

Ligamentos redondos (anteriores): salen de la parte anterior del cuerpo uterino y cruzan la parte anterior del estrecho superior, cuando los vasos iliacos externos desaparecen por debajo del arco crural y llegan a la pared abdominal anterior por el orificio profundo del conducto inguinal. En esta zona se acodan y recorren el conducto inguinal oblicuamente hacia abajo y adentro para emerger por el orificio externo y perderse en el tejido celuloadiposo del monte de Venus y los labios mayores. Este ligamento se tiende a aplastar y sólo cuando se tracciona se ve que de aplanado pasa a un cordón redondeado, siempre que sus fibras no estén atrofiadas. Mide por término medio de 12 a 15cm y es bastante resistente (tracción de casi 1kg de peso), siendo la zona más frágil cuando se acoda en el orificio inguinal profundo. Su calibre es de 2 a 5mm.

El ligamento redondo es el representante del *gubernaculum testis*, atrofiado en la mujer. Ocupa en el conducto inguinal el lugar ocupado por el conducto deferente en el hombre. El conducto peritoneovaginal (envoltura serosa arrastrada en el hombre por la migración de la glándula genital) tiene su equivalente en la mujer en el curso del desarrollo: el conducto de Nück. Dicho conducto está poco marcado en el embrión hembra y se oblitera precozmente. Su persistencia anormal en el hombre puede originar el punto de partida de hernias congénitas. Los restos del conducto de Nück están en el seno del ligamento redondo, lo mismo que los restos del conducto

peritoneo-vaginal están en el hombre en medio de los elementos del cordón. Este conducto se oblitera al nacimiento.

Ligamentos uterosacros (posteriores). Llamados también ligamentos posteriores o repliegues de Douglas. Nacen en la cara posterior del cuello uterino, uno a la derecha y otro a la izquierda de la línea media. A veces se unen sus puntos de origen formando el *torus uterinus* o *ligamento de Petit*.

Se dirigen hacia arriba y hacia atrás, rodean las paredes laterales del recto y se pierden en el peritoneo parietal posterior, a la altura de las primeras vértebras sacras. La cara superior se continúa con la cara posterior del ligamento ancho. El borde interno limita por detrás con el recto y forma un orificio oval, de un fondo de saco peritoneal, entre el útero y el recto que es el fondo de saco de Douglas. Los pliegues del Douglas dividen el cavum retrouterino en dos pisos: el superior, cubierto por colon pélvico y ocupado con frecuencia por asas de delgado, epiplón o anexos y el inferior, normalmente vacío, que se corresponde con el fondo de saco de Douglas.

El contenido del ligamento uterosacro está formado principalmente por nervios. La infiltración de sustancias anestésicas en dicha zona puede calmar ciertas neuralgias debidas a alteraciones de la estática uterina.

Ligamentos uterolumbares (*de Huguier*): se ven en ocasiones reemplazando a los uterosacros; casi nunca coexisten con ellos. Son repliegues peritoneales de morfología similar, pero que se elevan hasta la quinta vértebra lumbar. Así el cavum retrouterino queda dividido en tres pisos en vez de en dos.

Ligamentos vesicouterinos: dos repliegues peritoneales entre el istmo uterino y la cara posterolateral de la vejiga, equivalentes anteriores a los uterosacros. Dividen el fondo de saco anteuterino en fosa vesicouterina media y fosita paravesical lateral.

Vagina.

Es un órgano impar y medio, se halla situada en la excavación de la pelvis y en parte en el espesor del perineo, al que atraviesa de arriba abajo y de atrás adelante para abrirse al exterior en la vulva.

Sus relaciones a nivel ventral son con la vejiga y la uretra y por la cara dorsal con el recto. Continúa por el borde superior con el cuello uterino y en su extremo inferior con partes vecinas del perineo y la vulva.

Tiene forma de conducto cilíndrico aplanado de delante a atrás. En condiciones fisiológicas las paredes anterior y posterior se hallan totalmente pegadas una sobre otra, formando una cavidad virtual.

La longitud de la vagina, desde su orificio vulvar hasta la punta del cuello mide de 6-7 cm, pero resulta más larga si se mide por las paredes hasta la formación de los sacos vaginales alcanzando 7,5 cm por su cara anterior y 8,5cm por su cara posterior. El diámetro por su punto medio es de 25mm, pero las paredes son muy extensibles y elásticas (es el canal natural de salida del feto). La elasticidad es propia de las fibras vaginales, pero la tonicidad depende en gran medida de la musculatura del perineo.

La vagina se relaciona con:

-Cara anterior: en la mitad superior con el triángulo vesical; el cuello vesical se encuentra a 3 cm por debajo del fondo de saco anterior. Los dos órganos están unidos por el tabique vesicovaginal. Existe en ese tabique una parte fibrosa bien definida, la fascia subvesical de Halban, que cierra los hiatos genitales, apoyándose en el borde interno de los músculos elevadores. Este plano fibroso ayuda en la curación de los cistocelos vaginales. El tabique vesicovaginal es cuadrangular y es seguido por la parte terminal de los uréteres, rodeados de su vaina, se encuentran fuera del espesor del tabique, separados por 4 cm. Pero cuando penetran en la vejiga, en la base del triángulo de Lieutaud (que coincide con el triángulo vaginal o de Pawlick) descansan en la pared anterior de la vagina, a 2 cm del fondo del saco

anterior. Cuando la vejiga se llena, los uréteres tienden a separarse de la pared anterior de la vagina.

En la mitad inferior, la pared anterior corresponde con el conducto de la uretra y están íntimamente unidos, constituyendo el tabique uretrovaginal. En esta zona no se distingue zona parecida a la fascia de Halban.

-Cara posterior: se puede dividir en tres segmentos. Uno superior o pélvico, encima de los elevadores; otro intermedio, virtual, entre los elevadores y uno inferior, por debajo de los músculos elevadores.

El segmento superior se halla en relación con el peritoneo, formando el fondo de saco de Douglas cuando se repliega por la cara anterior del recto. Debajo de este fondo la vagina se aplica directamente a la pared inferior del recto, separados por una delgada capa, análoga a la aponeurosis de Denonvilliers en el hombre. Por esta hoja discurre la vascularización y el drenaje linfático.

El segmento medio es corto, pasa entre los fascículos internos de los músculos elevadores. Parte de sus fibras se insertan en la cara posterior vaginal, constituyendo una cincha muscular para la vagina, que al aplicar contracción también en la pared anterior forma un excelente modo de sostén. Estas fibras que se anclan en la cara posterior constituyen el músculo pubovaginal.

El segmento inferior: se separa del recto, quedando el triángulo rectovaginal. Comprende entre la horquilla vulvar por delante y el ano por detrás. En el vértice de dicho triángulo, recto y vagina están unidos por un pequeño fascículo (similar al rectouretral en el hombre) y se le denomina músculo rectovaginal. Debajo del triángulo se encuentran los planos perineales medio y superficial, con el núcleo fibroso del perineo, los músculos transversos y el esfínter externo del ano. Cuando hay alteración en ese núcleo, es la causa esencial de los prolapsos genitales.

-Bordes laterales: al igual que la cara posterior comprenden tres segmentos.

En el pélvico, los bordes laterales corresponden con el ligamento ancho o parametrio (ocupado por el plexo cervicovesicovaginal). En el segmento medio, entra en contacto íntimo con los elevadores. En el segmento inferior los bordes laterales vaginales entran en contacto con el músculo transverso profundo y la parte superior del constrictor de la vagina.

Trompas Uterinas o de Falopio

Son dos conductos, uno derecho y otro izquierdo, que se extienden desde el extremo del ovario al ángulo superior del útero. Su función es la de recoger al óvulo de la superficie del ovario y transportarlo a la cavidad uterina, donde se fija y desarrolla si ha sido fecundado o es expulsado al exterior en caso contrario. Por eso, se denomina también oviducto, conducto excretorio de la glándula genital.

Su longitud es por término medio de 10 a 12 cm y su diámetro de 2 a 4 mm, aumentando de dentro a afuera, llegando a medir de 6 a 8 mm cerca del extremo ovárico o externo, adquiriendo una forma de embudo, que se denomina *pabellón*; se continua con la porción media o *cuerpo* y termina en la porción *intersticial o interna*.

La trompa desemboca en el útero por el *ostium uterinum*, de 1mm de diámetro aproximadamente, que se abre en el vértice del infundíbulo y constituye el ángulo superior de la cavidad uterina.

El cuerpo de la trompa se divide en el *istmo de Barkow*, parte rectilínea de 3-4 mm, y en la *ampolla*, más ancha 8-9 mm y más larga (los dos tercios de toda la longitud de la trompa). En la ampolla es donde suele realizarse la fecundación del óvulo por el espermatozoide.

El *pabellón* es la parte más movable de la trompa. Su parte externa termina en una serie de lengüetas o franjas dentelleadas, entre 10 y 15, y son

las encargadas de recoger el óvulo de la cavidad abdominal y comunicarlo con la ampolla tubárica.

La trompa se sitúa en la aleta superior del ligamento ancho, entre el ovario, que está por detrás, y el ligamento redondo, que está por delante. Es la que constituye el borde superior del ligamento ancho.

El extremo interno se continúa con el útero, el extremo externo origina un cordón muscular-conjuntivo, que se denomina ligamento tuboovárico. Por lo tanto los tres elementos de sostén de la trompa son: su continuidad con el útero, las hojas del ligamento ancho y el ligamento tuboovárico.

No obstante son muy móviles, sobre todo en la parte externa. Se dirigen hacia atrás cuando el útero se dilata, se retraen si son comprimidas por el contenido intestinal o se dirigen hacia delante. Durante el embarazo las trompas y los ovarios se elevan hacia la cavidad abdominal, con el fondo del útero y descienden tras el parto a la fosa iliaca y a la excavación pelviana.

La trompa penetra en la aleta superior del ligamento ancho que se denomina *mesosálpinx*. Por este meso circulan los vasos, arterias y venas destinadas a la trompa y al ovario, así como los linfáticos y filetes nerviosos. Se alojan también ciertos restos embrionarios: el *epoóforo* en la parte externa y el *paraoóforo* en la transversal.

La trompa sana es imperceptible por palpación, pero se puede comprobar su permeabilidad a través de inyecciones con sustancias radiopacas por vía uterina.

Ovarios

Son las glándulas genitales femeninas destinadas a producir óvulos. Los ovarios al igual que los testículos, están situados primitivamente en la región lumbar, por dentro del cuerpo de Wolff y hacia el tercer mes de vida intrauterina descienden a la cavidad pélvica.

El ovario se forma en el lado interno del conducto de Wolff y cuando éste se atrofia, recibe de él su meso, que adquiere una gran importancia porque forma el ligamento ancho. Este ligamento ancho mantiene íntimas relaciones con los conductos de Müller, que darán lugar al útero.

Los ovarios son dos, localizados uno a cada lado de la cavidad pélvica. Se sitúan en la cavidad retrouterina, sobre las partes laterales de la excavación pélvica: delante del recto y detrás del ligamento ancho y la trompa. Tienen forma de ovoide algo aplanados.

Su peso varía según la edad: de 0,5 a 0,6 g en el recién nacido hasta 6-8 g en la edad adulta. Ciertas condiciones fisiológicas como el embarazo o la gestación ejercen variaciones en el volumen y consistencia del ovario.

En el recién nacido miden de 2 a 3mm de ancho y 2cm de longitud. En la menopausia se aplastan y se atrofian. Durante el periodo fértil la superficie del ovario se llena de cicatrices y surcos que son determinados por la puesta ovular y la formación de los cuerpos amarillos verdaderos y los cuerpos amarillos atrésicos de Kölliker.

La orientación del ovario es absolutamente variable, dependiendo de la mayor o menor laxitud de sus ligamentos, así como de la presencia o no de adherencias peritoneales o la repleción de la vejiga.

El ovario da inserción a cuatro ligamentos:

- 1- Ligamento tuboovárico: lo une al pabellón de la trompa.
- 2- Ligamento uteroovárico: desde la parte inferior del borde anterior del ovario al ángulo del útero, por detrás y algo por encima de la trompa.
- 3- Mesovario: forma parte del ligamento ancho. Une el ovario a la hoja posterior del ligamento ancho. Se inserta por su borde posterior en los dos labios del hilio ovárico.

4- Ligamento suspensorio, lumboovárico o ilioovárico: es el medio más eficaz de fijación. Forma un repliegue o meso que se dirige al ovario y se fija en la parte superior del mesovario.

La cara externa del ovario corresponde, en la mujer nulípara con la *fosita ovárica (fosita de Krause)*, que es una depresión del peritoneo que cubre la pared lateral de la pelvis, estando limitada por los vasos iliacos internos, que quedan ventrocranealmente, y el uréter y los vasos hipogástricos que se sitúan por detrás. En la múltipara, el ovario se localiza más caudalmente, por detrás del uréter y de los vasos hipogástricos, en la llamada *fosita de Claudius*.

La cara interna del ovario está cubierta por el mesosálpinx, la trompa y los demás órganos que contiene. El pabellón tubárico con sus franjas se relaciona con esta cara y llega al polo superior del ovario.

El borde anterior se adhiere a la aleta posterior del ligamento ancho, formando un repliegue muy corto que sería el mesovario. El peritoneo no rodea al ovario, sino que se fija en la parte anterior y se interrumpe, formando la *línea de Farré*. Por el borde anterior se encuentra el hilio del ovario.

El borde posterior está en contacto con las estructuras de la fosita ovárica y el uréter.

El polo superior da inserción al ligamento tuboovárico y al ligamento suspensorio. Entra en relación con la parte inferointerna de la fosa iliaca derecha, muy próximo al apéndice; por eso, patologías de ambos órganos pueden generar confusión.

El polo inferior suele quedar por encima del suelo pélvico en las nulíparas y en contacto con el mismo en las múltiparas, incluso puede llegar al fondo de saco de Douglas.

SUELO DE LA PELVIS

La pelvis está cerrada por debajo por el llamado **diafragma pélvico**, y por un conjunto de músculos y aponeurosis que conforman el **periné**.

Algunas de estas estructuras han sido bastante estudiadas. Así, Oh y Kart (1972) analizan el esfínter externo del ano como un músculo (*a single muscle bundle*) en la mujer, mientras que Shafik (1975, 1976a, b) lo describen como un sistema de triple lazo, tanto en el hombre como en la mujer

Oelrich (1983) admite, después de numerosas disecciones, que no se puede delimitar bien el “diafragma urogenital de Henle” y añade que puede ser debido a que la región se disecciona mal, que contiene, con la edad, pocas y pequeñas fibras musculares estriadas, rodeadas por fibras colágenas, amplio tejido conectivo y la existencia de las fibras musculares lisas en su entorno. Este autor describe el músculo esfínter externo de la uretra y caudalmente a él, el músculo compresor de la uretra y el esfínter uretrovaginal; sin embargo, considera que con la edad se incrementa el tejido conectivo y es difícil identificar las fibras del esfínter uretrovaginal.

El diafragma pélvico lo constituyen los músculos elevadores del ano y los sacrococcigeos

El músculo elevador del ano, en la mujer, se extiende desde de las paredes laterales y anterior de la pelvis y tienden a unirse con el del lado contrario en la línea media y posterior, estableciendo el cierre de la pelvis. Por delante están separados por la vagina y uretra.

Constituye un diafragma de concavidad superior, abierto por delante y cerrado por detrás, donde las fibras de un lado y del otro se unen. Por su disposición se diferencian varios fascículos, el músculo **puborrectal**, el **pubococcigeo** y el **iliococcigeo**. El puborrectal se extiende desde el pubis hasta el recto, al que forma un asa por su cara posterior; el pubococcigeo es más lateral que el anterior, insertándose en el pubis y lateralmente en el

ligamento anaoccigeo y en el cóccix. Por último, el iliococcigeo, es aún más lateral y posterior del músculo elevador del ano; se inserta en la espina isquiática y fascia del músculo obturador interno y terminan conjuntamente con el músculo anterior.

El **músculo coccigeo** es una lámina muscular, triangular, que se inserta por su vértice en la espina isquiática y por su base en el borde lateral y cara anterior del sacro.

Región perineal.

El periné femenino es la región del tronco situada por debajo del diafragma pelviano. Se encuentra en el estrecho inferior de la pelvis. Se extiende desde la sínfisis del pubis por delante hasta el cóccix, por detrás. Está atravesado por el conducto anal, la uretra y la vagina.

Los cambios que presenta respecto al hombre, se deben a las modificaciones que la región experimenta: desaparición de la próstata, la aparición de la vagina y su abertura en la vulva, así como, la falta de uretra anterior y la división del bulbo esponjoso en dos mitades.

En el periné se diferencian dos planos topográficos; uno profundo, el diafragma urogenital y otro superficial, asociado al aparato genital y al ano y, en conjunto, se diferencian dos triángulos; uno, anterior, o urogenital y otro, posterior o anal; ambos triángulos están cerrados por el diafragma pelviano, el posterior y por el diafragma urogenital, el anterior.

El plano profundo se extiende desde las dos ramas del pubis y contiene fibras musculares que corresponden al músculo transverso profundo lateralmente y al músculo esfínter externo de la uretra medialmente.

El plano perineal superficial está constituido por un músculo posterior, el esfínter externo del ano, por otro situado en el triángulo anterior, el transverso superficial del periné, junto con músculos asociados a los genitales externos.

El **músculo transverso profundo del periné**, en la mujer, son fibras musculares lisas y, en su lugar, hay dos músculos, el compresor de la uretra y el músculo esfínter uterovaginal.

El **músculo compresor de la uretra** está constituido por fibras musculares que se extienden desde las ramas isquiopúbicas hasta el contorno anterior de la uretra, continuándose con el esfínter externo de la uretra.

El músculo esfínter **uretrovaginal** son fibras que rodean de forma conjunta a los orificios de la uretra y la vagina. Realiza un papel complementario a la función del esfínter de la uretra en el cierre de la misma.

Músculo esfínter externo de la uretra. Es un músculo que rodea la primera porción de la uretra. Sus fibras rodean, como un manguito, a la uretra y su función es mantener cerrada la uretra, relajándose durante la micción y, si se contrae, la interrumpe.

Por delante del ano y por detrás de la vagina se encuentra el **cuerpo perineal o centro tendinoso del periné**.

El centro tendinoso del periné es una masa de tejido fibromuscular cuneiforme, situado en el centro del periné, entre los triángulos urogenital y anal. Está formado por tejido fibroso, fibras elásticas, fibras musculares lisas y estriadas procedentes de los músculos perineales que en él se insertan, como son: el músculo transverso profundo, además del elevador del ano, transverso superficial del periné esfínter externo del ano y músculos de los órganos eréctiles.

El plano perineal superficial está formado por los músculos: el esfínter externo del ano, impar, el transverso superficial del periné y los músculos anejos a los órganos eréctiles de los genitales externos.

Músculo esfínter externo del ano. Es un solo músculo en forma de arco, a ambos lados del conducto anal, cruzándose por delante y por detrás

del conducto, insertándose en el cuerpo perineal y en el ligamento anococcigeo. En él se pueden diferenciar tres planos de fibras musculares; una porción subcutánea, cuyas fibras están encima de la piel y próximas a la mucosa anal; una porción superficial, más profunda que la anterior y separada de la mucosa anal por el esfínter interno del ano y la porción profunda, que se entremezcla con las fibras de elevador del ano.

Músculo transverso superficial del periné. Es inconstante y si existe posee una disposición muy similar a la del transverso profundo, que desde el isquion y la rama isquiopubiana llega hasta el cuerpo perineal.

Los músculos asociados a los órganos eréctiles están en relación con el clítoris y con los bulbos vestibulares; **el músculo isquiocavernoso** está asociado a los cuerpos cavernosos del clítoris; los músculos **bulbo cavernosos** son dos músculos separados por la vagina que se originan en el cuerpo perineal y se dirigen hacia delante a uno y otro lado del orificio vaginal y se agotan las fibras en el bulbo vestibular y el cuerpo cavernoso del clítoris.

Aponeurosis del periné.

Son tres, superficial, media y profunda. La superficial es muy delgada y no es independiente de los músculos superficiales. Su parte media deja un orificio destinado al paso del conducto bulbovaginal; los bordes del orificio, por dentro de los músculos bulbocavernosos, se pierden en las paredes vaginales.

La media se inserta en el borde posterior de las ramas isquiopúbicas. Es atravesada por elementos vasculares. Por su línea media es atravesada por la uretra y vagina por el hiato genital.

La profunda está adherida íntimamente a la túnica conjuntiva de la vagina.

LA ANATOMIA DE LA PELVIS FEMENINA COMO BASE PARA LA EXPLORACIÓN FÍSICA DE LA PACIENTE

La aplicación clínica de la Anatomía o Anatomía aplicada está dirigida a los cuidados de los pacientes y aunque ha sido una de las parcelas del campo anatómico más olvidadas hasta ahora (Cottam, 1999); según Cahill, (1997) comienza a ser muy utilizada por los médicos residentes, sobre todo en especialidades con participación quirúrgica, como es el caso de la Obstetricia y Ginecología (Macchi y col., 2003).

Así el parametrio viene recibiendo especial atención desde el siglo XIX en el que fue descrito por Freund (1885), recibiendo también diversos nombres, como ligamento transverso del cuello (Mackenrodt, 1850), ligamento cardinal (Kocks, 1880) y ha sido estudiado por distintas vías y utilizando diversas técnicas. Bazot (1998) estudia 12 cadáveres de mujeres con ecografía, inyectando látex intravascular y analizó la anatomía comprendida desde el cuello del útero hasta la inserción de los músculos elevador del ano con lo la parte inferior de la vagina.

Por otro lado, estudios sobre el cuerpo perineal femenino han sido realizados por Woodman y Graney (2002) incidiendo sobre la importancia de esta parte del suelo de la pelvis en relación con la patología y su posible reparación. Es una masa de tejido muscular, con componentes fibrosos y fascias, situado entre la vagina y el ano, que posee un papel importantísimo en el mantenimiento del suelo de la pelvis y en los procesos de incontinencia urinaria y fecal. Actúa como barrera física entre vagina y recto previniendo la expansión del hiato urogenital. Se puede alterar en la episiotomía.

Los estudios del recto y del mesorrecto acapara también la atención, en cuanto a su aplicabilidad en la patología rectal, sobre todo en el cáncer de recto. Diop y col. (2003) estudian las relaciones del mesorrecto con las fascias y los nervios de la pelvis menor, con el objeto de armonizar una

dissección que lleve a la exéresis total del mismo, necesaria para evitar la propagación del cáncer rectal.

Así pues, los conocimientos anatómicos de las estructuras que componen el aparato genital son esenciales, no sólo para la exploración física de la paciente sino también para interpretar la existencia de alteraciones patológicas en cualquiera de las estructuras que lo conforman. También para interpretar todos aquellos datos que, gracias a las técnicas de imagen, tenemos a nuestro alcance y dotar a la anatomía de detalles para aplicar en casos de intervención.

En el caso de la mujer, la inspección y palpación de los genitales externos y de la región perineal conforman la exploración física externa de las pacientes, mientras que, la exploración vaginal digital, la recto-vaginal y la rectal configuran la exploración física interna del aparato genital femenino. Si a ello añadimos la exploración uterina, de las trompas y ovarios junto a la exploración de los ligamentos, vasos arteriales y venosos, nervios somáticos y vegetativos y los ganglios linfáticos, amplificamos el conocimiento de las estructuras contenidas en la pelvis femenina. Claro está, siempre hemos de tener presente las paredes de la pelvis, desde su estructura superior, el peritoneo, sus paredes anterolaterales, ósteo-ligamentosas y musculares y su suelo, el diafragma perineal.

Los conocimientos esenciales anatómicos en la exploración física de las pacientes son importantes no sólo para los especialistas sino también para el médico generalista. En toda exploración física se ha de tener en cuenta, tanto los genitales externos como los internos (datos tomados de las recomendaciones del Educational Affaire Comité, American Association of Clinical Anatomists, 2001).

Examen de los genitales externos.

El examen de vello púbico, su distribución que normalmente cubre el monte de Venus y labios mayores y que asume la forma de un triángulo

invertido; la inspección y palpación de los labios mayores y menores para descartar posibles ulceraciones, herpes genital o enfermedades venéreas.

La exploración física del vestíbulo de la vulva nos permite observar los orificios de la uretra y de la vagina; se aprecia la elevación rojiza alrededor del meato provocada por el esfínter externo y se puede observar si crece o existe un prolapso de la mucosa uretral. Se puede pedir a la paciente que aumente la presión abdominal (maniobra de Valsalva) para ver si se modifica este orificio.

Posteriormente, es necesario explorar los orificios de las glándulas parauretrales (glándulas de Skene), así como los orificios de las glándulas de Bartolino. Colocando el dedo índice en el interior de la vagina y el dedo pulgar en uno de los labios mayores se pueden explorar todas estas estructuras, así como el cuerpo perineal y el tejido fibromuscular que existe entre la vagina y el ano.

El orificio vaginal se explora con la maniobra de Valsalva para aumentar la presión intrabdominal. Si el cuello del útero desciende por el orificio vaginal sugiere prolapso uterino, pero también pueden apreciarse, cistoceles, rectoceles o enteroceles.

En los genitales externos es necesario analizar el himen, como un pliegue anular mucoso, con el orificio vaginal o con los datos que puedan apreciarse, según que haya habido partos, relaciones sexuales, etc. Por último se explora el clítoris, situado a 1cm por delante del orificio vaginal. Su desarrollo puede indicar, si está aumentado de tamaño, una variante anatómica (cliteromegalia) o bien la existencia de alteraciones hormonales.

También, la existencia de hemorroides, fisuras anales o prolapso anal son apreciables en el examen físico de la paciente.

Examen de los órganos internos.

Introduciendo los dedos índice y medio en el interior de la vagina se puede explorar las paredes anterior y posterior de la vagina. A través de la pared anterior se explora la uretra y vejiga, que normalmente no son palpables excepto la vejiga cuando está llena de orina. A través de la pared posterior se explora el canal anal, si está blando, duro, depresible, etc., el cuerpo perineal; la presencia de masas palpables apuntan hacia la posible existencia de metástasis. Colocados los dedos, uno en el cóccix y otro en dirección contraria hacia el pubis, se puede tener una aproximación del diámetro antero posterior de la pelvis; palpando las tuberosidades isquiáticas, se puede aproximar el diámetro transversal.

Pósterolateralmente se pueden palpar los ligamentos sacro ciático y sacro tuberoso así como la espina ciática, importante para el momento de la presentación del feto en el momento del parto.

Palpando la *porcio vaginalis* se puede apreciar su consistencia y movilidad. Normalmente el cérvix tiene cierta consistencia; si es más blando, como los labios, es un signo de embarazada (Signo de Hegar). A pesar de los ligamentos que la rodean, la *porcio vaginalis* puede desplazarse aproximadamente dos centímetros en todas las direcciones. Si hay inflamación de la pelvis los movimientos pueden estar alterados. La falta de movilidad posterior del cérvix puede indicar fibrosis del tejido conectivo, secundario a una infiltración tumoral. Si hay nódulos en la porción posterior, podría ser indicativo de endometriosis.

Se puede palpar el útero bimanualmente (con la vejiga vacía) con los dedos índice y medio colocados en el cérvix posterior, llevándolo hacia la pared abdominal; con los dedos de la otra mano, intentar palpar el útero por debajo del ombligo hasta la sínfisis púbica; un útero agrandado y simétrico sugiere embarazo; pero el útero puede estar hipertrofiado, con nudosidades

o asimetrías y ser causa de alteraciones. Si el útero es impalpable hay que sospechar la existencia de retroflexión.

Los ovarios no son palpables, incluso en mujeres muy delgadas. Si son palpables, se perciben como una masa oval pequeña, de consistencia firme, en torno a los 3cm, en su mayor dimensión, a un lado y otro del útero. A la palpación, si hay una masa lateral al útero puede ser sugerente de algún quiste o tumoración del ovario.

Las trompas uterinas tampoco son palpables, aunque en caso de infecciones pueden llegar a serlo, como una masa lateral al útero. Una masa lateral, blanda puede sugerir la existencia de gestación.

Si se introduce un espéculo en la vagina debe apreciarse blanda y de color rosado; si aparece de color púrpura es signo de gestación (signo de Chadwick). Se aprecia el orificio inferior del útero; en la nulípara es redondo u oval y transverso y estrellado en las multíparas. En la hembra premenárquica una coloración rojiza en el canal cervical puede salir por el orificio vaginal, formando un ectrópion. Cerca del orificio, la presencia de granulaciones, nódulos o úlceras sugieren la existencia de un carcinoma de cérvix. Incluso sin que se aprecie una patología, las células que rodean el orificio nos pueden indicar anormalidades, en especial cuando se tiñen y se examinan al microscopio óptico.

Introduciendo el dedo medio en el recto y el índice en la vagina se puede realizar un examen de ambos órganos; también, desde la vagina se puede explorar el fondo de saco vaginorrectal y comprobar si está o no limpio.

El recto es otro de los órganos que pueden explorarse a través del examen físico, introduciendo dos dedos por el ano y conducto anal

Por supuesto, la exploración interna se basa en gran medida en el diagnóstico por la imagen, por lo que la anatomía de todas estas estructuras,

tanto pélvicas como perineales y órganos internos, conlleva a su conocimiento exhaustivo.

LA RESONANCIA MAGNÉTICA COMO TÉCNICA PARA EL ESTUDIO DE LA PELVIS Y DE LOS ÓRGANOS PELVICOS.

A la exploración física de la paciente se unen otros tipos de exploraciones; éstas son múltiples, pero a nosotros nos interesa una, la resonancia magnética (RM), por lo que la analizaremos a continuación.

Esta técnica resulta muy útil en el diagnóstico de procesos patológicos, siendo especialmente empleada para la identificación y localización de lesiones en partes blandas (Gadian, 1982; Gunby, 1982; Margulis y col., 1982; Mansfield y Morris, 1982; Elster, 1986; Kean y Smith, 1986; Rinck y col., 1986; Jacobson, 1987; Stark y Bradley, 1987; Bernard y col., 1988; Sobejano y col., 1992; Sopena y col., 1996; Alcaraz, 2003; Cabrero, 2004).

Bartoli y col. (1991), utilizando la resonancia magnética analizan la anatomía del útero por zonas del mismo y en mujeres con diversos estados hormonales y comprueban que su morfología está sujeta a variaciones en relación con el estado hormonal de la mujer; analizan, además, los resultados en relación con la secuencia ponderada en T1 o en T2.

Fröhlich y col. (1997), hacen un estudio de la pelvis, del suelo de la misma y de las estructuras relacionadas utilizando diversas técnicas, tales como secciones anatómicas, plastinación, tomografía computarizada y resonancia magnética con el objeto de diferenciar mejor los músculos de la región pélvica y sus relaciones con las estructuras vecinas.

Posee grandes ventajas, como son, la visualización precisa de los tejidos blandos y la ausencia de radiaciones ionizantes. A diferencia de las técnicas descritas anteriormente que utilizan los rayos X para la obtención de imágenes del organismo, la RM emplea campos magnéticos y radiación no ionizante de radiofrecuencia incluida en el espectro electromagnético.

Describiremos brevemente sus fundamentos técnicos de la siguiente manera:

1) Se somete al paciente a un campo magnético intenso, homogéneo y estable en el tiempo. Esto determina que los momentos magnéticos de los núcleos de hidrógeno del organismo se orienten siguiendo la dirección del campo magnético externo.

2) Se envía una onda de radiofrecuencia con una frecuencia igual a la de la resonancia de los núcleos de hidrógeno, lo que origina un cambio en la orientación de los momentos magnéticos de estos átomos (los núcleos de hidrógeno absorben energía del haz de radiofrecuencia).

3) Al interrumpir la onda de radiofrecuencia, los núcleos regresan a la orientación inicial determinada por el campo magnético externo, produciendo una liberación de energía también en forma de onda de radiofrecuencia.

4) La energía liberada, que porta gran cantidad de información, es captada por una antena y, posteriormente, analizada y tratada informáticamente para reconstruir la imagen.

Estos cuatro puntos describen los fundamentos físicos de la resonancia magnética. Resumiremos los recursos técnicos que permiten obtener las imágenes.

En primer lugar, es necesario contar con un campo magnético intenso y muy homogéneo (imán). Habitualmente se genera con bobinas superconductoras enfriadas con helio líquido. En la práctica, las intensidades de campo magnético que ofrecen los equipos oscilan entre 0,5 y 3 T.

Por otra parte, la señal de relajación emitida por el volumen elemental de tejido es muy débil y es preciso intensificarla (secuencias de pulsos). En RM se aplican diferentes pulsos e intervalos de tiempos entre pulsos con lo

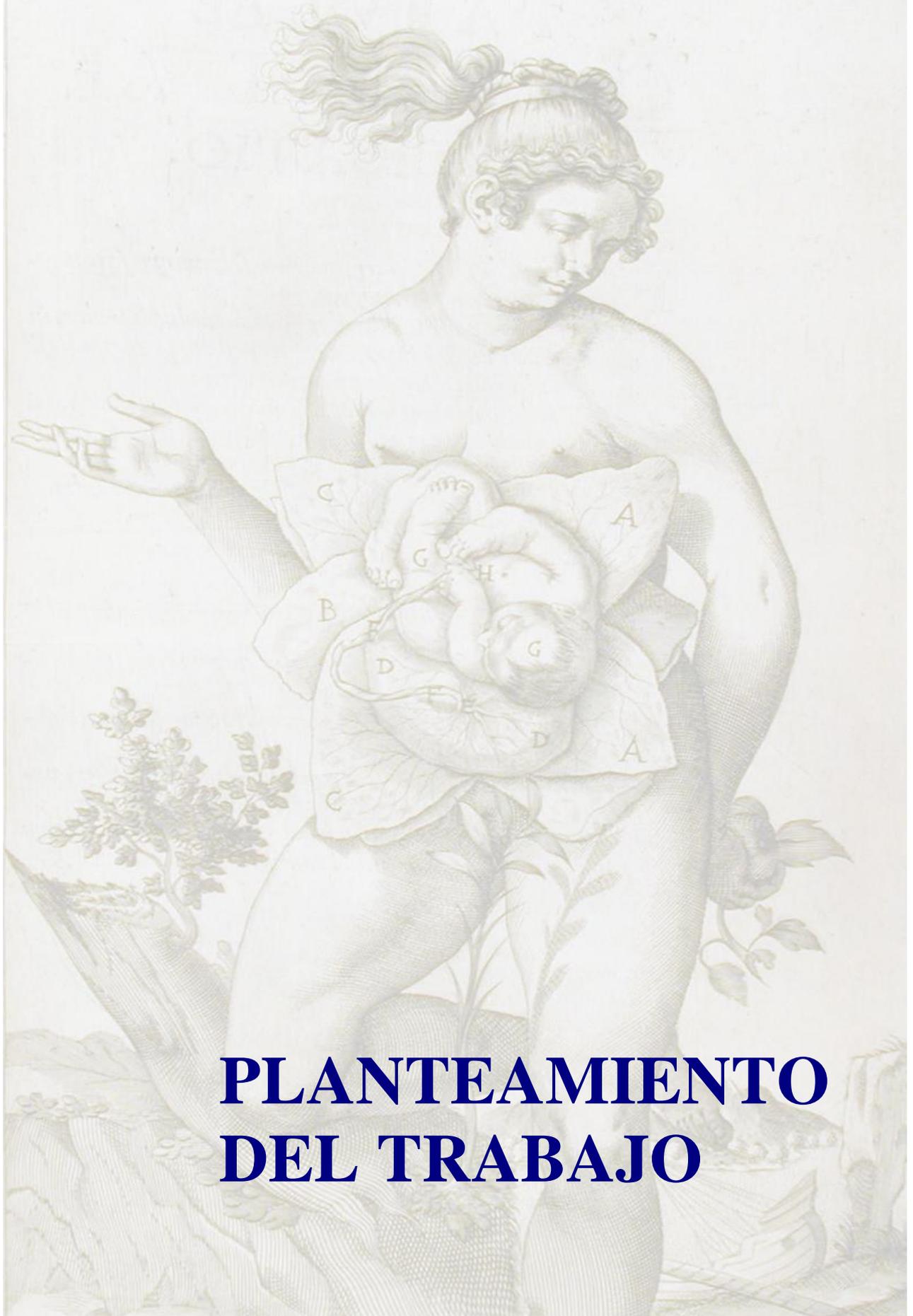
que se obtienen distintas secuencias. La secuencia se repite varias veces hasta conseguir la información correspondiente a la imagen. El operador modifica determinados parámetros para influir en la señal resultante de los diferentes tejidos con objeto de visualizar mejor la morfología del órgano o el proceso clínico que se estudia (imágenes potenciadas en densidad protónica, T1 y T2). Las imágenes en T1 son muy anatómicas, lo que facilita el estudio morfológico de una zona. Las imágenes potenciadas en T2 son más fisiopatológicas y más diagnósticas.

En tercer lugar, es preciso limitar el proceso de resonancia-relajación a un solo plano. Es decir, como el objetivo de la exploración es generar la imagen de un corte del interior del organismo, hay que identificar la información proveniente de ese corte y, en concreto, de cada uno de los vóxeles que lo componen (*localización espacial de la señal*).

El conjunto de señales procedentes de los vóxeles que componen el corte explorado es captado mediante una antena. Este es otro de los componentes de un equipo de RM. Las bobinas o antenas usadas para transmitir la onda de radiofrecuencia al paciente y recibir la señal de radiofrecuencia del mismo.

Finalmente, un sistema computarizado realiza el *tratamiento informático* que permite obtener la imagen.

Tab. III.



PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Con el proyecto Human Visible y las posibilidades de su utilización, se puede decir, respecto a Anatomía y como afirma Ackerman (2006), que “El arte del pasado se combina con la tecnología del presente para proporcionar una nueva vía de estudio y comprender la complejidad total de la Anatomía Humana en el futuro”.

El modo de observar, interpretar, enseñar, aprender Anatomía, saber buscar la forma de interpretarla, hacerla más aplicativa, que sirva para resolver problemas, que ayude al diagnóstico y tratamiento de enfermedades, ha sido una constante desde que empezó a enseñarse Anatomía Humana. Desde antiguo y hasta ahora, se ha ido modificando la forma y el modo de interpretar las diferentes estructuras del cuerpo humano.

Antes del Renacimiento el conocimiento de Anatomía era empírico, basado en la lectura de textos, conociéndose las estructuras gracias a las disecciones efectuadas en animales y transcritas a los libros sin ilustraciones; las más utilizadas eran las de Galeno y en España la anatomía de los textos árabes (Vázquez y col., 2007). A partir del Renacimiento y hasta el siglo XVIII, es decir, durante unos doscientos años y para que fueran aprendiendo los futuros galenos, se empezaron a utilizar verdaderas ilustraciones anatómicas, realizadas por artistas, teniendo una base anatómica obtenida de la disección del cadáver; basta ver las ilustraciones de Vesalio, de Albinus o de Valverde de Amusco, por citar algunos de los más conocidos (ver citas en Vázquez y col., 2007).

Ya bien entrado el siglo XIX, concretamente a partir de su segunda mitad, aparecen los primeros atlas anatómicos, basados en fotografías obtenidas de cadáveres diseccionados, por lo que los conocimientos de la estructura del cuerpo humano fueron más exactos; entre ellos debemos citar el de Gray (1858, tomado de Platzer, 1995), que fue perfeccionándose ya entrado el siglo XX, cuando se llegó a combinar datos obtenidos de fotografías con los realizados por artistas, lo cual dio lugar a imágenes reales en cuanto a las relaciones de estructuras se refiere, pero se las retocaba y se dejaba a un lado aquello que no era fundamental para la comprensión de la propia imagen; ejemplo de ello es el atlas anatómico de Grant que apareció en 1943 en dos volúmenes.

Junto con estos atlas, y en la segunda mitad del siglo XIX, aparecen las representaciones del *aparato reproductor (masculino y femenino) con láminas sobrepuestas, abriéndose como las hojas de un libro* (Witkoswski, 1890, ver Fig. I-5) en los que las relaciones entre las estructuras se podían analizar mucho mejor, así como la visión e identificación de los elementos anatómicos.

Un salto importante en los conocimientos anatómicos se produjo con las imágenes radiológicas. En 1896, Roentgen descubrió los rayos X y obtuvo así la primera fotografía radiológica. Con esta técnica se logró visualizar el cuerpo humano y se pudieron apreciar diferentes órganos y estructuras en el individuo vivo, sin tener que abrir el cuerpo; sin embargo, no era tan fácil poder apreciar la anatomía a través de los Rayos X, pues se obtenía una estructura plana en la que todos los elementos estaban en el mismo plano. A pesar de que la obtención de imágenes mediante Rayos X se fue poco a poco perfeccionando, siempre seguía existiendo falta de profundidad de campo.

Hounsfield desarrolló en 1967 una nueva técnica, la tomografía axial computarizada (TAC) que pudo ser utilizada en la clínica en 1972. Con el TAC se obtiene una imagen de una sección corporal, que en principio fue axial y de ahí su nombre; esta sección pudo ser escaneada y digitalizada.

Poco a poco, esta técnica fue ganando en aspectos, tales como, mejora de aparatos para poder hacer el barrido del corte, modificación de los cortes, tiempo en efectuar la prueba, etc. Todo ello condujo a su utilización en la clínica, para el estudio de pacientes y también en la enseñanza de la Anatomía, ya que pone de manifiesto las diversas estructuras corporales de una manera topográfica, en un plano, pero pudiéndose estudiar diversos planos de forma secuencial.

Por el mismo tiempo se empezó a utilizar la resonancia magnética (RM) para la obtención de imágenes corporales; no utiliza rayos X y, sí en cambio, campos magnéticos variables; fue en 1977 cuando Damadian obtuvo las primeras imágenes corporales en el individuo vivo.

Tanto las imágenes de TAC como las de RM les falta la tercera dimensión y así se suscitó la cuestión ¿cómo obtener imágenes en tres dimensiones (3D)?

El problema se solventó con la digitalización de estas imágenes, pues al ser tomográficas y estar digitalizadas, el ordenador puede apilarlas unas con otras y así reconstruir partes e incluso el cuerpo humano en 3D. Así se concibió el Proyecto del Human Visible, dirigido y realizado por la National Library of Medicine (NLM) en Bethesda (Spitzer y col., 1996) basado en la obtención de imágenes digitalizadas obtenidas de secciones consecutivas en el plano axial del cadáver de un cuerpo humano, varón, que había donado su cuerpo a la ciencia. Los datos se presentan en correlación con imágenes de RM y TAC. Un poco más tarde se amplió este estudio, mejorado, en el cadáver de una mujer anónima de 59 años. Con estos proyectos los datos anatómicos pueden ser aprendidos en una Anatomía tridimensional.

A estos modelos del Human Visible han seguido otros, como Chinese Visible Human Project (Zhang y col., 2003), el Visible Korean Human (Park y col., 2005) así como numerosas aplicaciones basadas en las imágenes del

Visible Human, pues como dicen Spitzer y Scherzinger (2006) este proyecto permite visualizar, manipular y interactuar con imágenes.

Es importante y debe quedar claro, que la Anatomía 3D es específica de cada paciente. Ello permite a los especialistas como cirujanos, neurólogos y radiólogos, estudiar al propio paciente y les proporciona la disposición exacta de sus órganos, pues éstos pueden ser diferentes de unos individuos a otros.

La generación de imágenes 3D del cuerpo humano está sufriendo un incremento en los últimos años, habiéndose generalizando su uso en diferentes ámbitos médicos (Fielding y col., 2000; Hoyte y col., 2001). La implementación creciente de aplicaciones informáticas avanzadas para la visualización de modelos-3D de estructuras anatómicas permite comprender su estructura y relaciones espaciales. Entre otras muchas aplicaciones podemos citar las de Spitzer y Whitlock, (1998), Garg y col. (1999), Jashtrou y Wollrath (2002), Bajka y col. (2004), Parikh y col. (2004), Robb y Hanson (2006), Temkin y col. (2006) y, entre nosotros, Juanes y col. (2003).

No hay duda, como ya exponíamos en el capítulo de Introducción, que regiones de especial complejidad anatómica, como la cavidad pélvica, caracterizada por contener órganos de morfología irregular (vejiga, útero, recto) y estructuras de soporte situados en diferentes planos de profundidad (músculos del suelo pélvico, ligamentos), son difíciles de representar y comprender a partir de esquemas reproducidos en dos dimensiones. Por otro lado, como ya hemos expuesto, esta región es de difícil estudio en el cadáver, por su espacio reducido y por la aparición de cambios post-mortem, tanto en la forma de los espacios anatómicos como en las relaciones entre los órganos pélvicos.

La mayor revolución en el campo del radiodiagnóstico ha venido de la introducción de técnicas informáticas y la utilización de las propiedades de

resonancia de los átomos de hidrógeno, bajo la acción de diferentes campos magnéticos y de radiofrecuencia. La resonancia magnética ha revolucionado la comprensión e interpretación de las estructuras anatómicas, al poder obtener secciones seriadas, lo que ha supuesto un avance en el diagnóstico por métodos mínimamente invasivos, facilitando la preparación de los abordajes quirúrgicos al mostrar con gran resolución el estado de las diferentes estructuras anatómicas. En la región que nos ocupa, han contribuido a conocer mejor la anatomía de la pelvis femenina (Fielding y col., 2000; Fielding, 2002; Kearney y col., 2006).

La resonancia magnética permite un examen convencional de secuencias potenciadas en T1 y T2 en los planos axial, sagital y coronal y adquisiciones en secuencias T2 siguiendo el eje mayor del útero en el plano sagital.

La alta resolución de la resonancia magnética, mediante el uso de nuevas bobinas, ha aumentado la sensibilidad en el reconocimiento de estructuras anatómicas, lo que sin duda, facilitará la identificación diagnóstica de posibles anomalías congénitas y lesiones tumorales de la uretra femenina, en el estudio del prolapso de la vejiga urinaria y en el estudio de la incontinencia urinaria, entre otras patologías (Tunn y col. 2001; 2006).

Su capacidad multiplanar y de diferenciación de las partes blandas hacen de ella una excelente técnica de diagnóstico por imagen no invasiva, tanto para el estudio normal como patológico de la anatomía pélvica.

Para el cirujano pelviano el conocimiento de las relaciones anatómicas exactas de las estructuras viscerales y parietales de la pelvis femenina es tan esencial como su pericia diagnóstica y técnica. Sin éste conocimiento de la anatomía pelviana, la cirugía deja de ser una ciencia y se convierte en un simple procedimiento técnico que puede ser peligroso para la paciente y es una constante amenaza para el cirujano. Por tanto, el conocimiento

anatómico debe formar parte de la base fundamental de todo cirujano ginecológico (Iglesias, 2005).

Son escasos los estudios que analizan con detalle la anatomía radiológica de la pelvis femenina mediante aplicaciones abiertas para la representación de escenas virtuales en plataformas Windows de bajo coste. Por tanto, el trabajo de Tesis doctoral que planteamos y que hemos titulado “MODELIZACIÓN VIRTUAL DE LA PELVIS FEMENINA A PARTIR DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA” supondrá una excelente herramienta para la visualización y análisis 3D de las estructuras anatómicas de la pelvis femenina, con secciones simultáneas de resonancia magnética en los tres planos del espacio.

Los objetivos que nos hemos marcado con este procedimiento informático se basan en las siguientes consideraciones:

1. Desarrollar capacidades y destrezas a través de la utilización de los sistemas informatizados de simulación gráfica y visualización espacial.
2. Generar una herramienta de trabajo práctica para la planificación y tratamiento de posibles patologías de las estructuras pelvianas.
3. Aumentar la motivación de profesionales urólogos y ginecólogos, residentes hospitalarios, estudiantes de medicina etc., proporcionándoles aprendizaje y destreza en el conocimiento de las estructuras que conforman la pelvis femenina.
4. Proporcionar conocimientos sobre la estructura del aparato genito-urinario centrándonos en las relaciones topográficas entre vejiga y el aparato genital femenino, mediante la visualización en diferentes posiciones espaciales y en 3D.

El desarrollo de aplicaciones informáticas avanzadas para el estudio de distintos aspectos anatómicos corporales, están siendo introducidas, de forma progresiva en el terreno médico, generándose programas muy valiosos para el estudio anatomo-radiológico. Las intervenciones asistidas

por ordenador comienzan a ser una realidad en las actuaciones quirúrgicas y, aunque es cierto que esto no ha hecho más que comenzar, parece evidente que su evolución es progresiva, avanzando a gran velocidad.

La resonancia magnética de alta resolución permitirá obtener imágenes para poder identificar las principales estructuras óseas, musculares, ligamentosas y viscerales de la pelvis femenina normal, obteniendo un excelente mapa anatómico de los compartimientos del periné y de las estructuras intrapélvicas, para su identificación, delimitación y posterior reconstrucción 3D.

La aplicación informática que pretendemos desarrollar permitirá visualizar e interactuar simultáneamente con: 1) imágenes seccionales de la pelvis, seleccionadas a intervalos de 5 mm, en los tres ejes ortogonales del espacio; 2) modelos-3D de superficie, que incluyen fundamentalmente estructuras: *óseas* (coxal, sacro, cóccix, extremidad proximal del fémur, vértebra L5, disco intervertebral, sínfisis del pubis), *musculares* (obturadores externo e interno, piriforme, elevador del ano, coxígeo, esfínter externo de la uretra) y *viscerales* (vejiga, uretra, vagina, útero, recto).

La aplicación informática que se propone supondrá un buen método de visualización 3D, teniendo como referencia la sección de RM en los tres planos del espacio, lo que facilitará su valoración anatómica, haciendo uso de las capacidades gráficas avanzadas que hoy en día ofrecen los ordenadores.

Para el desarrollo de nuestra aplicación informática, utilizaremos tecnología informática, de última generación, empleando para su elaboración, software de creación propia, así como estándares del mercado, con el fin de que el desarrollo informático se presente en un soporte compatible con la mayoría de los equipos informáticos y con las diferentes versiones del sistema operativo Windows, que disponen la mayor parte de los alumnos y de los centros universitarios españoles.

En una primera fase de nuestro desarrollo, se recogerán las imágenes radiológicas procedentes de Resonancia Magnética, para la posterior identificación de las diferentes estructuras anatómicas que configuran la pelvis femenina. Nos apoyaremos en la ayuda de radiólogos expertos en el aparato urogenital del Hospital Clínic de Barcelona, por ser uno de los más destacados de nuestro país en este campo de la ginecología.

Las imágenes seccionales del organismo, en los tres planos del espacio y todos los modelos anatómicos 3D se visualizarán en un software, específicamente desarrollado por nosotros, programado en Visual C, que incluirá controles directX para la renderización de imágenes y modelos de malla triangular. Mediante la generación de un visor, podremos representar las escenas gráficas en cualquier orientación y almacenarlas en formato bitmap.

Obtendremos así un primer prototipo, Beta 2, que incorporará ya todos los contenidos y las diferentes funcionalidades que conformaran el máster definitivo.

El software a desarrollar se orientará hacia un modelo centrado en el usuario, basándose en el autoaprendizaje y la autoformación en esta área anatómica de la pelvis femenina.

Por otra parte, el procedimiento informático que pretendemos llevar a cabo nos permitirá experimentar con medios que se adapten a la realidad tecnológica actual en las áreas de las ciencias médicas, por lo que al diseñar procedimientos virtuales para la formación docente y experiencia práctica de la anatomía del organismo humano, ayudará a simular situaciones que se presenten en distintos pacientes mediante procedimientos tecnológicos.

En definitiva, desarrollos informáticos, como el que proponemos, supondrán alcanzar otros muchos objetivos de interés, como:

- Ampliar la cobertura de la formación académica.
- Disminuir los costos en la formación de los estudiantes.

- Simular situaciones clínicas, que en la realidad tendrían escasas posibilidades de realizarlas.
- Repetir los eventos o fenómenos clínicos cuantas veces necesite el alumno.
- Desarrollar habilidades en el uso de la informática y las tecnologías docentes innovadoras.

A la hora de diseñar nuestra aplicación docente, partimos de la base de que nuestro procedimiento informático debería cumplir una serie de requisitos, entre los que destacamos: el ser de utilidad práctica para el usuario, el de permanencia en el tiempo, y el de innovación (arquitectura abierta e innovadora).

Por ello, el desarrollo informático propuesto lo elaboraremos en base a las siguientes directrices:

Utilidad: que se desarrolle una herramienta útil para la valoración morfológica de la pelvis femenina, a través de un buen material interactivo basado en secciones seriadas de resonancia magnética correlacionadas con modelos tridimensionales de las estructuras anatómicas pélvicas.

Usabilidad: que permita sincronizar y correlacionar la anatomía en 3D, mediante la generación de un visor apropiado.

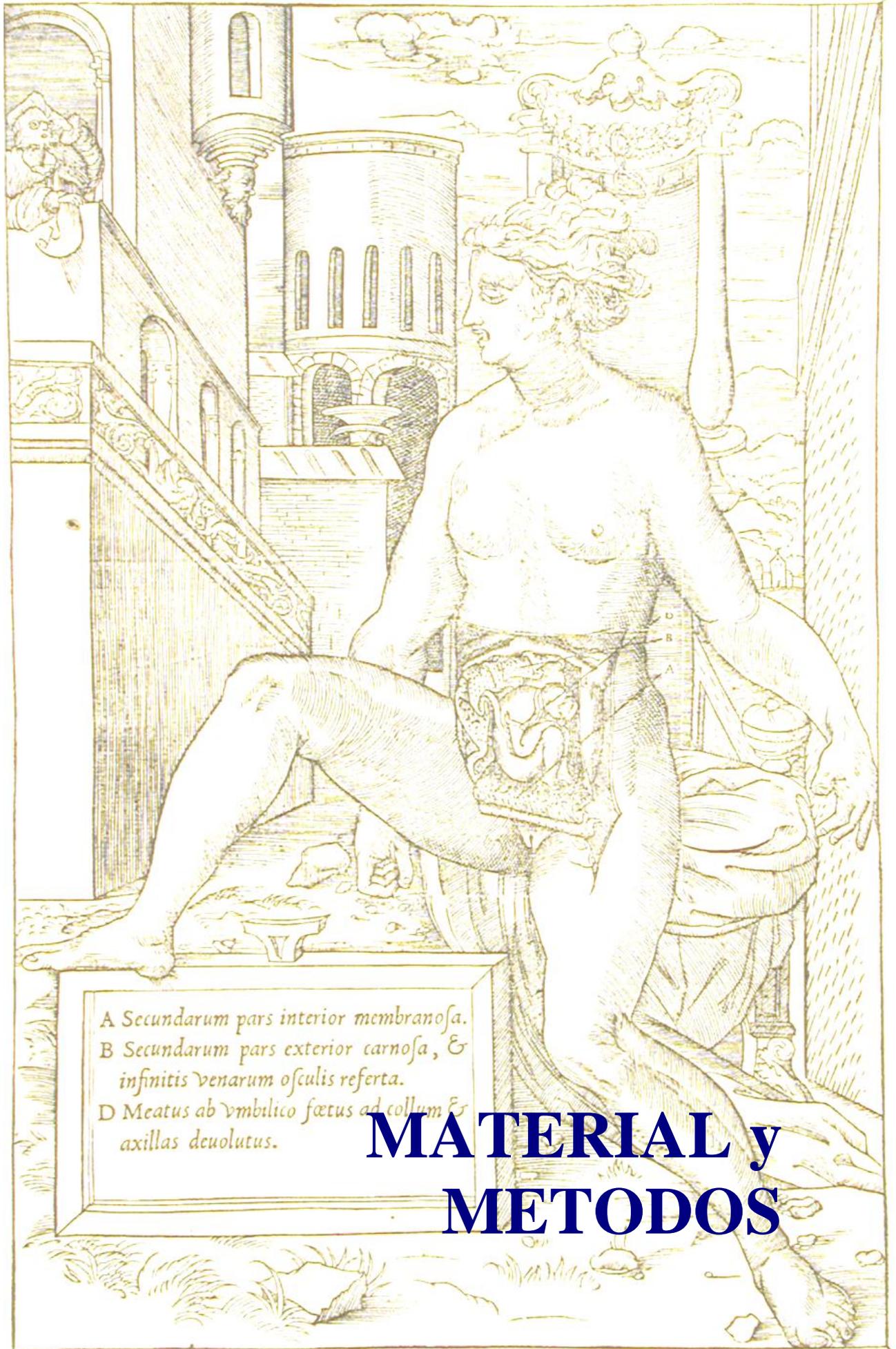
Permanencia en el tiempo: que nos permita la actualización de contenidos, tanto de modelos anatómicos tridimensionales como de imágenes obtenidas por distintos procedimientos diagnósticos, lo que facilitará al usuario la creación de sus propias experiencias adquiridas en la clínica diaria.

Arquitectura abierta: que permita generar un material, sincronizado y documentado para elaborar un archivo iconográfico y audiovisual con fines docentes, informativos, etc., lo que conferirá, a

esta herramienta, una dimensión absolutamente innovadora y radical, al no existir, en la actualidad, ninguna aplicación de características parecidas.

Innovación: que estemos ante un desarrollo informático totalmente innovador y de gran utilidad práctica en la docencia en ciencias médicas.

Cada día surgen nuevas plataformas informáticas como estructuras coordinadas de software y hardware que proveen la base para la construcción de sistemas de información para la formación médica. La incorporación de las tecnologías informáticas al campo de la medicina supone un recurso útil y atractivo en cualquier área de las ciencias de la salud. Por tanto, la formación y documentación con el apoyo de métodos tecnológicos, a través de programas informáticos interactivos, favorece el proceso de formación de los usuarios de estos recursos tecnológicos.



A Secundarum pars interior membranosa.
B Secundarum pars exterior carnosae, &
in finitis venarum osculis referta.
D Meatus ab umbilico foetus ad collum &
axillas devolutus.

**MATERIAL y
METODOS**

La metodología empleada en la presente Tesis se relaciona con dos tipos de procedimientos:

A.- Obtención del material gráfico y documental

B.- Implementación de la pelvis virtual femenina en un sistema de visualización de imágenes en tridimensionales en un visor de Direct x, bajo la denominación ViX

A.- Material gráfico y documental

El material gráfico generado ha incluido 2 tipos diferentes de objetos gráficos: 1) imágenes de resonancia magnética; y 2) modelos tridimensionales (3D). En cuanto al material documental, se ha procedido a elaborar breves descripciones relacionadas con las estructuras anatómicas modelizadas. Se describen a continuación las principales fases empleadas para la obtención de estos diferentes elementos.

A.1.- Adquisición y procesamiento de imágenes de resonancia magnética (IRM)

Parámetros de adquisición

Se obtuvieron imágenes de alta resolución potenciadas en diferentes secuencias, T1, T2 y en densidad protónica (DP) en los tres planos ortogonales (axial, coronal y sagital) de la región abdomino-pélvica, para el estudio anatómico global de la pelvis. No obstante, para el procedimiento informático únicamente se adquirieron imágenes de alta resolución, con un espaciado de 0.5 mm, potenciadas en DP (densidad protónica), de la región pélvica (Fig. M1). Específicamente se obtuvieron tres IRM ortogonales, cada

una en un plano espacial diferente, utilizando un scanner de 1.5 Teslas (HarmonyExpert, Siemens) de una mujer voluntaria de 29 años de edad, nulípara y sin antecedentes conocidos de patología ginecológica.

El protocolo de adquisición ha consistido en secuencias 2D de la región abdomino-pélvica con los siguientes parámetros comunes a las tres orientaciones: repetition time = 3220; echo time = 14; 3-mm slice thickness; matrix = 512 x 512; flip angle = 150°. Los parámetros de adquisición específicos a cada orientación fueron: planos axial y sagital: slice spacing = 3.6 mm; pixel spacing = 0.547mm x 0.547mm; plano coronal: slice spacing = 4.8 mm; pixel spacing = 0.586mm x 0.586mm.

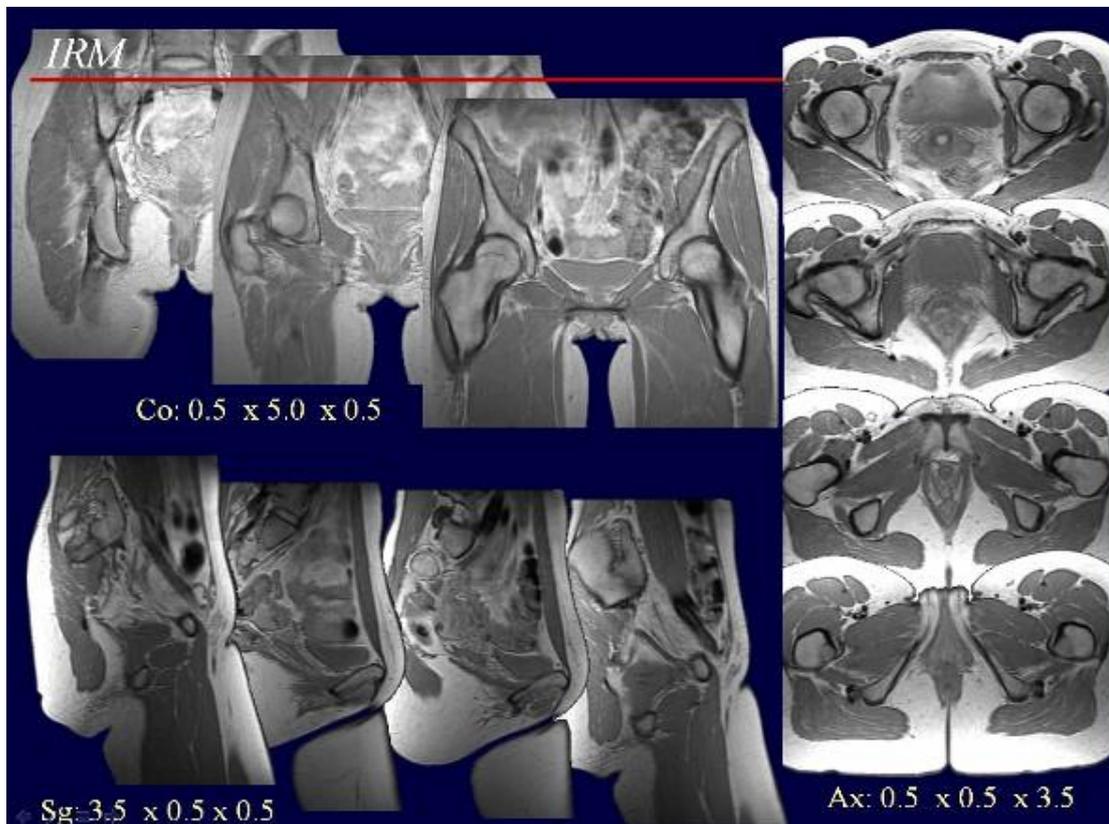


Fig. M1. Adquisiciones ortogonales, en los planos coronal (izquierda-superior), sagital (izquierda-inferior) y axial (derecha) en secuencias 2D de la región abdomino-pélvica.

A partir de los ficheros raw data DICOM se reconstruyó, para cada orientación, un volumen DP, que fue salvado en formato ANALYZE 7.5 mediante el software de libre distribución MRicro (Nottingham, UK).

Una secuencia flash-3D de la misma región fue también adquirida (repetition time = 19; echo time = 3.25; 2-mm slice thickness; matrix = 256 x 256; flip angle = 90°; pixel spacing = 0.156mm x 0.156mm, resultando en un volumen de 256x104x256 slices)

Esta image-volume ha sido exclusivamente utilizada para la verificación de las estructuras identificadas en la DP

Alineación y redimensionamiento

Con la finalidad de homogeneizar al máximo las dimensiones entre los tres volúmenes, éstos fueron alineados, tomando como referencia el adquirido en el plano axial. A continuación se redimensionaron, aplicando un filtro Lanczos, resultando en un volumen axial de 600x560x30 slices (voxelsize= 0.5x0.5x3.5mm³), un volumen sagital de 30x560x560 slices (voxelsize 3.5x0.5x0.5mm³) y un volumen coronal de 600x28x560 slices (voxelsize 0.5x5.0x0.5 mm³). De cada uno de estos volúmenes se exportaron imágenes en formato PNG para su representación en un visor 3D (ver la sección visualización y renderización).

Así mismo, para facilitar la fase de modelización, los 3 volúmenes fueron redimensionamientos (*reslicing*), obteniéndose imágenes isotrópicas con vóxeles de 1 mm, es decir, con vóxeles que poseen el mismo tamaño en todas las dimensiones.

A.2.- Modelos 3-D

Para la obtención de modelos 3-D de superficie, consistentes con modelos geométricos delimitados por mallas poligonales (triangulares), se han seguido las siguientes fases:

Delimitación de regiones de interés

Mediante un editor 3-D (Amira, 3.1; TGS Template Graphics Software) se procedió a delimitar en los volúmenes isométricos las regiones de interés (ROIs), también denominados *labels*, de las estructuras anatómicas a reconstruir (Fig. M2). Estas regiones han incluido:

1. Estructuras osteoarticulares:
 - a. Hueso coxal, bilateral
 - b. Sacro-cóccix
 - c. Extremidad proximal del fémur, bilateral
2. Estructuras musculares
 - a. Músculo obturador interno, bilateral
 - b. Músculo obturador externo, bilateral
 - c. Músculo elevador del ano
 - d. Músculo coccígeo, bilateral
 - e. Músculo piriforme, bilateral
 - f. Músculo psoas-ilíaco, bilateral
3. Estructuras viscerales
 - a. Vejiga
 - b. Uretra, y músculo esfínter externo
 - c. Vagina
 - d. Útero
 - e. Ovario, bilateral
 - f. Recto

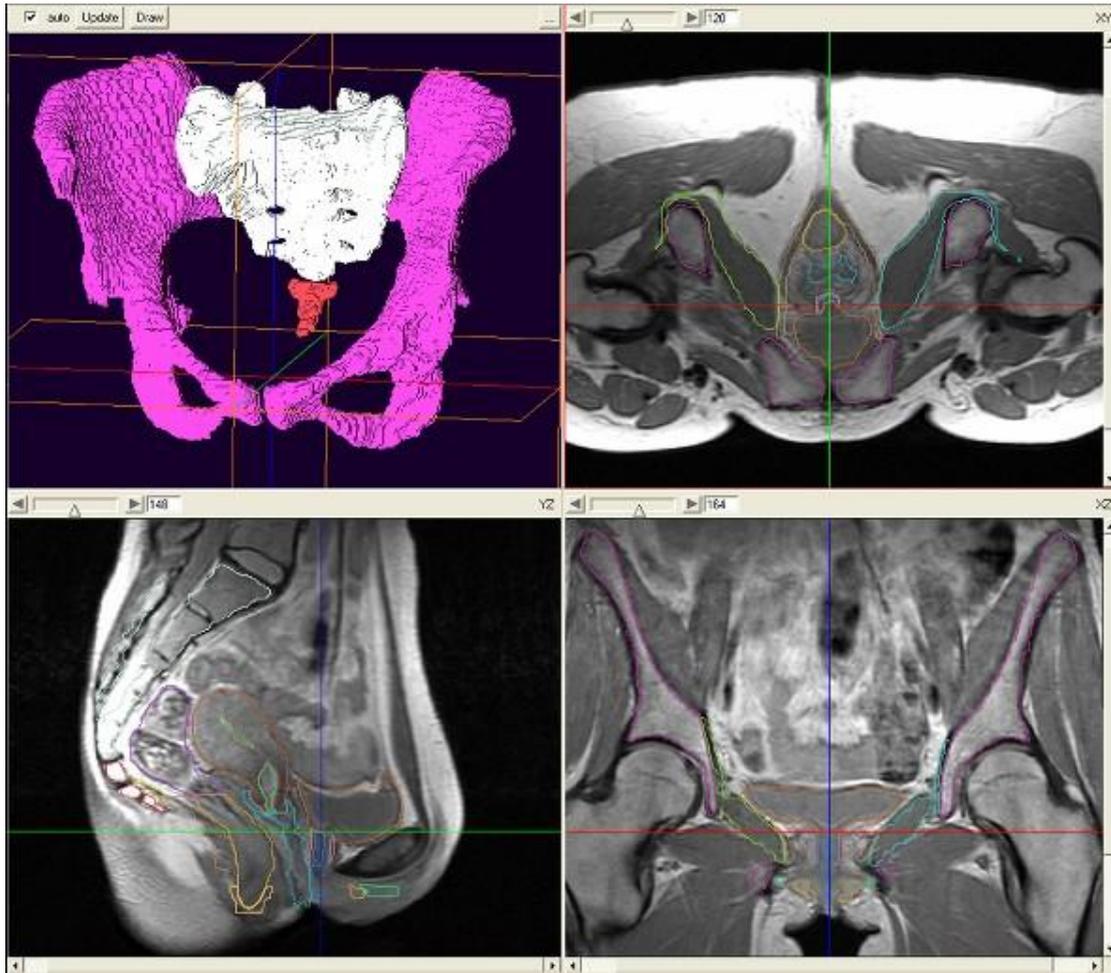


Fig. M2. Delimitación de ROIs mediante editor 3D, sobre el volumen de referencia isométrico. En las imágenes seccionales cada estructura es identificada con un *label* de diferente color, mostrándose en la ventana superior izquierda el aspecto tridimensional de los ROIs seleccionados que forman parte de los huesos coxales (rosa), sacro (blanco) y cóccix (rojo).

Generación de modelos 3D

A partir de las ROIs, y aplicando un algoritmo conocido como *marching cubes*, se obtuvo un modelo de malla triangular de la superficie de cada una de estas estructuras identificadas (Fig. M3).

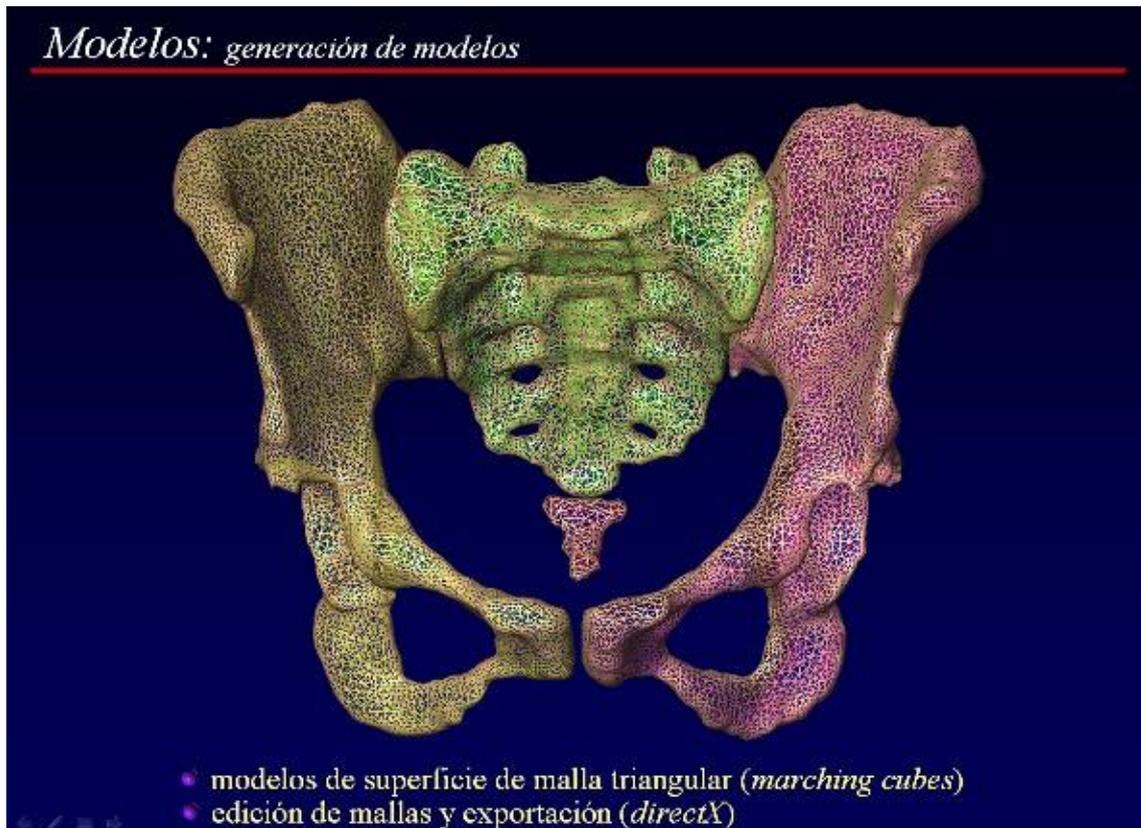


Fig. M3. Generación de modelos de superficie a partir de las ROIs, aplicando algoritmos de 'marching cubes'.

Dada la alta resolución de las IRM, se procedió a la simplificación y suavizado de la malla, obteniendo modelos poligonales que podían posteriormente editarse con mayor facilidad, mediante programas específicos de modelado (3D Studio Max). Se muestra en la Tabla 1 la resolución, expresada en número de facetas triangulares, de los principales modelos reconstruidos.

| Modelos | Nº triángulos |
|---------------------------|---------------|
| huesos coxales (2) | 24.032 |
| sacro-cóccix | 11.792 |
| fémur (2) | 10.044 |
| ms. obturador interno (2) | 13.716 |
| ms. obturador externo (2) | 6.828 |
| ms. elevador del ano | 6.044 |
| ms. coccígeo (2) | 6.000 |
| ms. piriforme (2) | 5.028 |
| m. psoas-ilíaco (2) | 8.700 |
| uretra | 476 |
| vejiga | 1.000 |
| vagina | 6.000 |
| útero | 998 |
| ovario (2) | 600 |
| recto | 2.220 |

Tabla 1. Resolución de los modelos reconstruidos, expresada en número de facetas triangulares. Entre paréntesis se indica el número de estructuras que componen el modelo.

En el caso específico de la vejiga, una vez obtenido su modelo completo, éste se seccionó por su línea media en 3D Studio, creando a partir del mismo 3 modelos concéntricos adicionales: 1) una capa externa, la serosa; 2) una capa intermedia, correspondiente al músculo detrusor; y 3) una capa interna, el epitelio vesical.

Para aumentar el realismo de representación de los músculos se generó una imagen en Photoshop que sería utilizada como textura (Fig. M4).



Fig. M4 Imagen utilizada como textura para representar los músculos de la pelvis

Finalmente los modelos 3D fueron exportados al formato directX, un formato gráfico estándar compatible con ViX, utilizando un programa de conversión (3D Exploration v 1.831, Right Hemisphere, Inc.; <http://www.righthemisphere.com/3dexploration/>)

A.3.- Material documental

Para cada uno de los modelos 3D reconstruidos se elaboró un fichero en formato html con una breve descripción anatómica. Como se muestra en la Tabla 2, correspondiente a la descripción del músculo elevador del ano, el texto puede incluir enlaces externos, incluidos accesos a páginas web o documentos, por ejemplo en formato pdf, que complementen la información que mostrará la aplicación informática.

Músculo elevador del ano

El ms. elevador del ano, junto con el ms. coxígeo, constituyen el *diafragma pélvico*. Está formado por dos músculos principales, de medial a lateral: el ms. pubocoxígeo y el ms. iliocoxígeo. El pubocoxígeo, de mayor grosor, consta a su vez de diferentes divisiones, de acuerdo con sus inserciones: pubouretral, pubovaginal y puborrectal, llamadas colectivamente pubovisceral.

Referencias

Hershorn S. Female pelvic floor anatomy: the pelvic floor, supporting structures, and pelvic organs. Rev. Urol. 2004; 6 (Suppl5):1-10. pdf.

Parkh M, Rasmussen M, Brubaker L, Salomon C, Sakamoto K, Evenhouse R, Ai Z, and Damaser M. Three dimensional virtual reality model of the normal female pelvic floor. Ann. Biomed. Engin. 2004; 32: 292-296.pdf

Tabla 2. Ejemplo de documentación con la descripción de una estructura anatómica, en este caso correspondiente al músculo elevador del ano, que será vinculada a su modelo 3D.

B.- Implementación de la aplicación en el visor de DirectX

La pelvis virtual femenina ha sido implementada en un visor de directX, una aplicación de visualización que hemos generado, para entornos Windows, programada en Visual C, que incluye controles ActiveX. Está diseñado para optimizar las capacidades de aceleración gráfica que soportan las tarjetas actuales.

La interfaz del visor de directX consta fundamentalmente de tres áreas (Fig. M5):

- 1.- Visor 3D, para la representación de los diferentes elementos gráficos -planos y modelos de superficie-

- 2.- Área de Control, con diferentes controles para la interacción con las imágenes seccionales y los modelos representados en el Visor (visibilidad, color del modelo).
- 3.- Selector de Escenas, menú desplegable mediante el que puede seleccionarse la escena virtual a representar, definida en un fichero de texto externo a la aplicación.

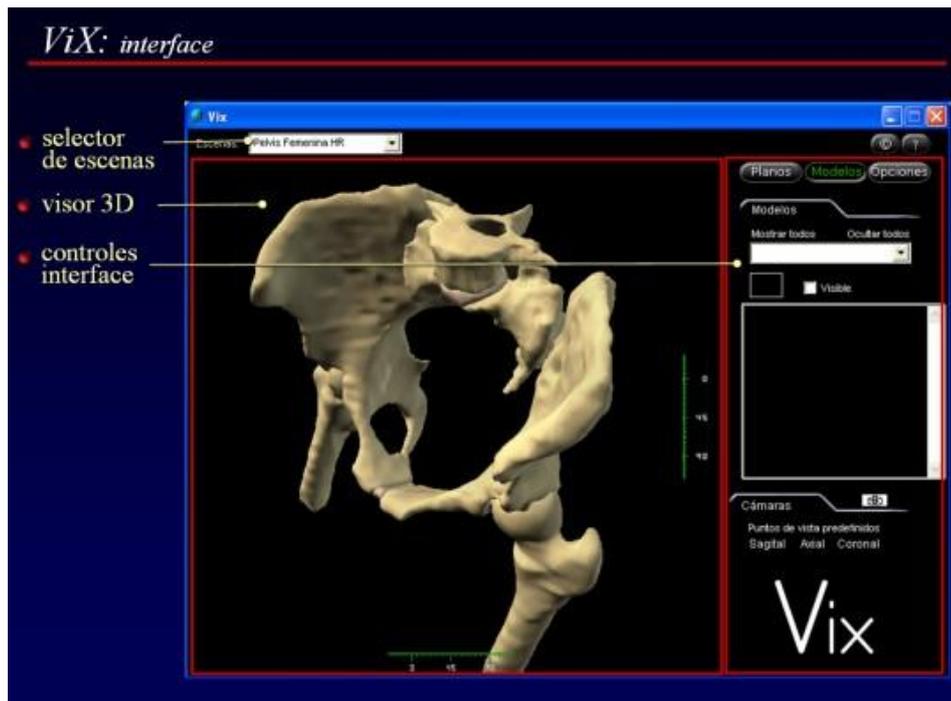


Fig. M5. Interfaz del programa ViX (visor de directX)

Para la creación de la pelvis virtual han debido editarse dos ficheros de texto (utilizando un programa tipo WordPad) con la descripción de los elementos que constituyen la escena gráfica, que son interpretados por la aplicación ViX: un fichero de definición de imágenes y un fichero de definición de modelos.

Fichero de definición de imágenes

En la Tabla 3 se incluye un extracto del texto que consta en el fichero de descripción de las imágenes de la pelvis.

```
#stackVol v1.0
dimension 300 280 280
PFxelsize 1,0 1,0 1,0
origin 148 131 139 #en numero de slices
Sagittal {
imagenesPF\PF_Sg.0101.png, 101
imagenesPF\PF_Sg.0110.png, 110
....
}
Coronal {
imagenesPF\PF_Co.0080.png, 80
imagenesPF\PF_Co.0090.png, 90
....
}
Axial {
imagenesPF\PF_Ax.0090.png, 90
imagenesPF\PF_Ax.0095.png, 95
.....
}
```

Tabla 3.- Ejemplo de texto contenido en el fichero de definición de imágenes.

Este fichero contiene la información para disponer las imágenes seccionales en su orientación y posición espacial adecuada, que vienen determinadas por los siguientes parámetros:

- *dimension* (x, y, z): indica la dimensión total del volumen del que se han obtenido las imágenes, es decir, el número total de slices (300x280x280)
- *pixelsize* (x, y, z): tamaño del vóxel, en cada dirección espacial, expresado en milímetros (1mmx1mmx1mm)

- *origin* (x, y, z): origen -centro de referencia- del volumen (148,131,139)
- orientación: puede ser *Sagittal*, *Coronal* o *Axial*.
- nombre del fichero de imagen, seguido del slice al que corresponde

Fichero de definición de modelos

Al igual que el anterior, se trata de un fichero de texto, que en este caso contiene las especificaciones de cada modelo 3D. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo para la definición de las características del modelo correspondiente al músculo elevador del ano.

```
Model {  
  name "ms. Elevador del ano_v2"  
  label "msElevadorAno"  
  file  
  PelvisF\ModelosPF\v2\PF_msElevadorAno.x  
  color 0,6 0,04 0,0  
  transparencyRange 0 1  
  transparency 0,05  
  drawStyle shaded  
  visible 0  
  documentation  
  PelvisF\docPF\msElevadorAno.htm  
}
```

Tabla 4.- Ejemplo de texto contenido en el fichero de definición de modelos.

Los principales nodos empleados en este tipo de fichero son los siguientes:

- *Model {}*. Define la creación de un nuevo modelo, cuyas características se especifican entre llaves.

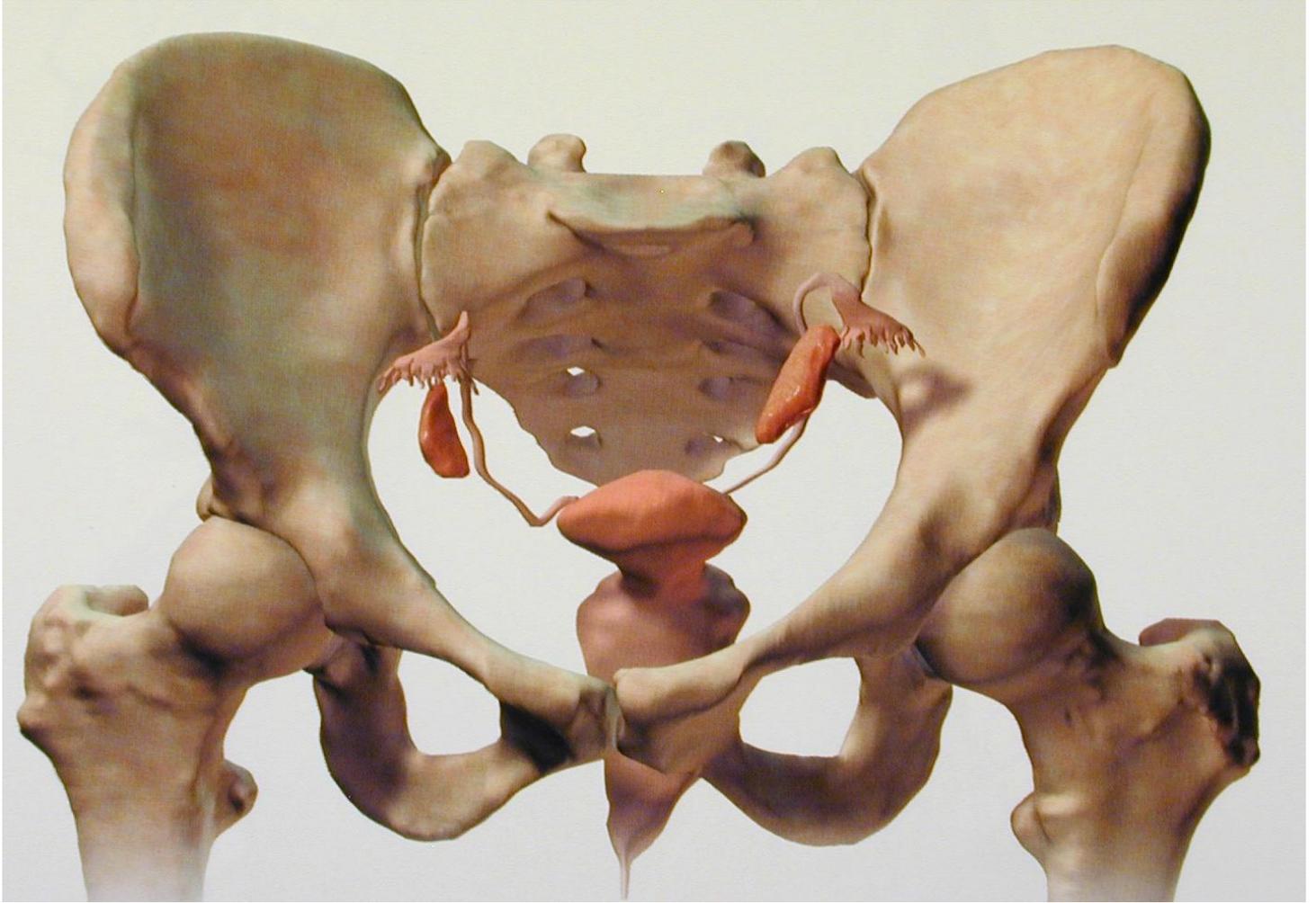
- *name*. Nombre con el que se aparecerá el modelo en los menús desplegables de selección.
- *label*. Identificador de modelo, para uso interno.
- *file*. Fichero en formato DirectX con la geometría del modelo
- *color*. Color del modelo, en escala RGB, con valores de cada componente entre 0 y 1
- *transparencyRange*. Permite especificar el rango de variación del factor de transparencia. Generalmente 0 para objetos no transparentes y 1 para la máxima transparencia.
- *transparency*. Factor de transparencia inicial del modelo.
- *drawStyle*. Especifica el estilo con el que se representa la malla poligonal, que puede seleccionarse entre dibujo sombreado (*shaded*) o de líneas (*lines*).
- *visible*. Nodo empleado para definir la visibilidad inicial del modelo. El valor 0 indica No visible y el valor 1, visible.
- *documentation*. Fichero en formato html que contiene la documentación asociada al modelo.

En la Tabla 5 se resume el color, transparencia y estado de visibilidad inicial asignados a los diferentes modelos:

| Modelo | color | transparencia | visibilidad |
|------------------|----------------|---------------|-------------|
| huesos coxales | 0,95 0,9 0,85 | 0,1 | 1 |
| sacro-cóccix | 0,95 0,9 0,85 | 0,1 | 1 |
| Fémur | 0,95 0,9 0,85 | 0 | 1 |
| Músculos | 0,60 0,04 0,00 | 0 | 0 |
| Uretra | 0,90 0,70 0,00 | 0 | 0 |
| Vejiga | 0,90 0,60 0,50 | 0,5 | 0 |
| Serosa vesical | 0,90 0,60 0,50 | 0 | 0 |
| ms. Detrusor | 0,70 0,10 0,10 | 0 | 0 |
| epitelio vesical | 0,90 0,80 0,00 | 0 | 0 |
| Vagina | 1,00 0,80 0,50 | 0 | 0 |
| Útero | 0,90 0,70 0,30 | 0 | 0 |
| Ovario | 0,90 0,50 0,40 | 0 | 0 |
| Recto | 0,71 0,36 0,18 | 0 | 0 |

Tabla 5. Color, factor de transparencia y estado de visibilidad inicial asignados a los diferentes modelos

Todo el procedimiento informático finalmente fue empaquetado para su montaje en soporte CD-ROM, para su instalación en ordenadores con sistemas operativos Windows.



RESULTADOS

El estudio con Resonancia Magnética (RM) de alta resolución nos permitió identificar las estructuras que integran la pelvis femenina (paredes óseas, músculos y elementos viscerales), obteniendo así un excelente mapa anatómico del periné y de los órganos pélvicos, para su identificación, delimitación y posterior reconstrucción tridimensional. Su alta resolución de contraste para el estudio de los tejidos blandos, nos ofreció un mapa anatómico claro y preciso de los órganos intrapélvicos y los compartimientos del periné, sin que los movimientos respiratorios apenas alteraran la imagen, y sin ser necesario administrar medios de contraste.

Mediante esta técnica de diagnóstico por imagen hemos podido valorar con precisión los elementos anatómicos que integran la pelvis femenina, mediante la obtención de cortes tomográficos seriados en los tres planos del espacio axial, coronal y sagital (Figs. 1, 2 y 3).

La intensidad de la señal ha dependido de la naturaleza de la secuencia de impulsos y del valor de los parámetros titulares T1, T2 y Densidad Protónica. Si bien hemos manejado secciones con diferentes ponderaciones para la identificación de estructuras anatómicas, para la aplicación informática que presentamos hemos utilizado imágenes de RM potenciadas en Densidad Protónica, estas últimas presentan una buena relajación señal-ruido, lo que nos proporcionaron un buen análisis anatómico de las distintas estructuras, respecto a las otras potencialidades. (Fig. 4 y 5).

Es habitual comenzar, como en nuestro caso, por una exploración mediante imágenes de localización rápida de la estructura anatómica a estudiar. Posteriormente practicamos las exploraciones realizando cortes en las tres posiciones espaciales, posicionándolas conjuntamente. (Fig. 6).

Si bien, la RM, dada a su excelente diferenciación tisular, nos ayuda a llevar a cabo una buena identificación de partes óseas y blandas, en nuestro trabajo describiremos solamente los datos más relevantes, de los elementos anatómicos de la pelvis femenina que hemos reconstruido, para su visualización tridimensional, en nuestro procedimiento informático, obtenidos por esta técnica de diagnóstico por la imagen.

Por tanto, analizaremos las estructuras anatómicas comenzando por la descripción de la pelvis ósea, para seguir con los músculos que en ella se insertan y terminar, finalmente, con las estructuras viscerales que contiene.

En el estudio con RM de la pelvis ósea (Figs. 7 y 8) debemos tener en cuenta que el campo magnético sólo es homogéneo en la parte central del imán; por ello cuando la región explorada no se encuentra centrada, como en el caso de la cadera, la falta de homogeneidad del campo comporta errores de codificación espacial, lo que produce un aspecto jaspeado de la imagen.

La cavidad pelviana se ha dividido clásicamente en una pelvis mayor y una pelvis menor o verdadera. El límite que separa ambas es un plano inclinado imaginario que pasa a través del promontorio del sacro, de la línea innominada del coxal y del borde superior de la sínfisis del pubis (Fig. 7).

Debido a su desviación de unos 45° hacia abajo respecto al plano horizontal, en una serie descendente de cortes axiales a nivel de esta zona de transición entre el abdomen y la pelvis, se observa que la pelvis menor y su contenido aparecen primero ocupando la porción dorsal del espacio pélvico, mientras que la pelvis mayor y su contenido quedan situadas por delante.

En cortes progresivamente más caudales, las eminencias de las líneas arcuatas aparecen más anteriores, hasta fundirse finalmente con la sínfisis del pubis (Fig. 7). De forma paralela, el área de sección correspondiente a la pelvis menor se expande hacia delante, y la de la pelvis mayor se reduce hasta desaparecer.

Estas apreciaciones, se observan perfectamente al visualizar las secciones seriadas axiales o transversales de resonancia magnética que se incluyen en nuestro procedimiento informático.

La exploración de los huesos ilíacos y la cadera con antena de cuerpo entero, permitió el estudio simultáneo de ambas partes, con una calidad de imagen bastante satisfactoria lo que facilitó su identificación y delimitación para su posterior reconstrucción tridimensional (Fig. 8).

Para su adquisición la paciente se encontraba en decúbito supino y con los brazos cruzados sobre el pecho para evitar que se produjeran artefactos de solapamiento en la imagen.

Las trabéculas óseas forman bandas de hiposeñal. La distinción entre cartílago del cotilo (superficie semilunar), y cartílago de la cabeza se puede visualizar mejor en cortes sagitales. El rodete cotiloideo, formado por fibrocartílago, aparece como un triángulo en hiposeñal interpuesto entre las extremidades externas de los cartílagos femoral y cotiloideo en los cortes frontales. El transfondo de la cavidad cotiloidea normalmente se halla relleno por una almohadilla adiposa.

La secuencia con cortes axiales, coronales y sagitales, en condiciones normales, la masa muscular que rodea al hueso es de baja intensidad de señal y, permitiendo así una buena diferenciación entre uno y otro elemento anatómico (Fig. 9).

Las secuencias con densidad protónica aportaron una buena definición para la identificación de los elementos viscerales que contiene la pelvis y conseguir así una buena reconstrucción tridimensional basada en las imágenes de resonancia magnética (Fig. 10).

En las mujeres en edad reproductora, como las empleadas para nuestro trabajo de Tesis Doctoral, se diferencian tres zonas en el cuerpo uterino (Fig.11): una zona central hiperintensa que representa el endometrio, una zona intermedia de baja intensidad de señal que es la zona de transición y la capa más periférica,

el miometrio, que muestra una intensidad de señal intermedia. El endometrio experimenta modificaciones de su grosor en un ciclo uterino normal, oscilando de 3 mm en la fase folicular a 5 mm en la fase secretora. En el cérvix pueden diferenciarse tres zonas: una central hiperintensa representando al moco endocervical, ésta se ve rodeada por una zona de intensidad intermedia de señal en relación con la mucosa cervical. Estas dos capas tienen un grosor de 2 a 3 mm. Rodeando a la mucosa cervical se visualiza una zona hipointensa que corresponde al estroma fibroso, con un grosor de 3 a 8mm.

La detección de ambos ovarios se consigue en el 100% de las mujeres mediante el uso de bobinas de *phased-array*.

En las mujeres en edad reproductora se aprecia un córtex relativamente hiperintenso respecto a la médula, que aparece hipointensa. (Fig. 12). Los folículos ováricos se visualizan con intensidad de señal intermedia en secuencias densidad protónica y con alta intensidad de señal en secuencias T2.

La vagina es una estructura muscular tubular, localizada entre la vejiga y el recto. Su tercio superior se origina de la fusión de los conductos de Müller y los dos tercios inferiores a partir del seno urogenital. Las secuencias ponderadas en T2 son las más sensibles para una correcta valoración y diferenciación de las capas de la vagina, demostrando una hiperintensidad de señal central (Fig. 13), debida a la presencia de moco y fluido intraluminal. Las paredes de la vagina se visualizan marcadamente hipointensas en las secuencias T2 en relación con su componente muscular. La grasa de la pelvis que se encuentra rodeando a la vagina presenta una alta intensidad de señal, lo que determina un excelente contraste con la vagina (Fig. 13).

La alta resolución de la RM mediante el uso de bobinas de *phased-array* proporciona una buena visualización de la uretra femenina (Fig. 14) y de los tejidos periuretrales, contribuyendo a la diferenciación de determinados procesos generalmente confusos en la exploración clínica.

La uretra femenina se origina en el trígono vesical y termina por delante de la apertura de la vagina. Anatómicamente está compuesta de dentro a afuera por

una capa mucosa, una capa submucosa y una capa muscular. El aspecto característico en las adquisiciones axiales con Resonancia magnética, antes y después de la administración de contraste paramagnético es a modo de anillo, mostrándose la capa mucosa hipointensa, todas las potencialidades y sin realce tras administrar contraste. La capa submucosa, ricamente vascularizada, presenta una alta intensidad de señal en secuencias T2 y con densidad protónica (Fig. 14) y se realza intensamente tras la administración de contraste paramagnético. La capa externa muscular se observa hipointensa y sin realce tras la administración de contraste.

La aplicación informática que presentamos permite visualizar e interactuar simultáneamente con: 1.- Imágenes seccionales de la pelvis, seleccionadas a intervalos de 5 mm, en los tres ejes ortogonales del espacio (Fig. 6). 2.- Modelos-3D de superficie, que incluyen fundamentalmente estructuras: óseas (Fig. 15) (coxal, sacro, cóccix, extremidad proximal del fémur, vértebra L5, disco intervertebral, sínfisis del pubis), musculares (Figs. 16 a 25) (obturador externo e interno, piriforme, elevador del ano, coxígeo, esfínter externo de la uretra) y viscerales (Figs. 26 a 30) (vejiga, vagina, útero, recto).

La reconstrucción tridimensional de todas estas estructuras anatómicas que integran la pelvis femenina, embebidas en los datos volumétricos de resonancia magnética, constituye la forma más clara e intuitiva de análisis morfológico, ya que, el examen individual de las imágenes de los distintos cortes que componen una secuencia de resonancia magnética, nos permiten una sencilla comprensión del conjunto elementos anatómicos que constituyen esta zona corporal.

Nuestra aplicación informática supone un buen método de visualización 3D, teniendo como referencia la sección de resonancia magnética en los tres planos del espacio, lo que facilita su valoración anatómica, haciendo uso de las capacidades gráficas avanzadas que hoy en día ofrecen los ordenadores.

La interfaz gráfico de usuario generado es muy intuitivo (Figs. 31 y 32), en él aparecen las diferentes opciones que permiten actuar con el visor anatómico, permitiendo la visualización de las estructuras anatómicas en tres dimensiones, a

petición del usuario y teniendo como patrón de referencia las secciones de resonancia magnética en los tres planos del espacio (coronales, axiales y sagitales), pudiendo activar o desactivar la visualización de cada una de ellas (Fig. 31). Además, cada modelo 3D viene descrito con un pequeño comentario anatómico (Figs. 31 y 32).

Los comentarios anatómicos a los modelos tridimensionales reconstruidos que aparecen en el desarrollo informático elaborado, los describimos a continuación:

SUSTRATO ÓSEO DE LA PELVIS

Pelvis ósea (Figs. 7, 8 y 15).

El esqueleto pélvico constituye un anillo óseo formado por tres segmentos parciales: los dos huesos coxales y el hueso sacro.

El hueso coxal se origina por sinóstosis de tres huesos aislados: el ilion, de situación craneal; el isquion, de situación caudal, y el pubis dirigido hacia la parte ventral. Hasta cerca de los 18 años los tres huesos están aún delimitados entre sí por líneas cartilaginosas que inciden respectivamente en el acetábulo y tienen la forma de una Y.

El hueso coxal es plano y ancho, cuyas porciones se hallan torsionadas sobre su eje, de tal manera que les confiere un aspecto de una hélice.

De los tres segmentos de los que consta el hueso, el medio es estrecho, y está escavado en su parte lateral o externa por una cavidad articular denominada acetábulo; el segmento superior, aplanado y ancho, corresponde a el ileon, y el segmento inferior, forma los bordes de un amplio orificio, llamado agujero obturado, y está constituido por el por el pubis, en su mitad anterior, y el isquion, en su mitad posterior, formando por la unión de ambos la denominada rama isquiopubiana.

El sacro es el resultado de la fusión de cinco vértebras sacras. Tiene forma de pirámide cuadrangular, aplanada anteroposteriormente, de base superior y

vértice inferior. Está situado en la parte posterior de la pelvis, entre los dos huesos coxales. Está excavado anteriormente, siendo esta concavidad más acentuada en la mujer que en el hombre.

La pelvis mayor la forman las dos alas ilíacas que rodean por la parte dorsal externa el núcleo visceral. La pelvis menor, cuya pared ósea está formada por todos los elementos del esqueleto pélvico, encierra los órganos pélvicos. La línea limitante, línea terminal, que separa la pelvis mayor de la menor se compone del promontorio, la línea innominada y la cresta pectínea.

El canal pélvico (canal del parto) forma un tubo doblado hacia la parte ventral en torno a la sínfisis, que a la altura de la tercera vértebra sacra alcanza su amplitud máxima (anchura de la pelvis).

ELEMENTOS MUSCULARES (Figs. 19 a 25).

Músculo coccygeus (Fig. 19).

Pequeño músculo del periné que se extiende desde la espina ciática y ligamento sacrociático hasta el borde lateral del sacro y cóccix.

Su misión fundamental es participar en el sostén de las vísceras pelvianas al igual que el músculo elevador del ano.

Está inervado por ramos S4-S5, Co1, del plexo sacrococcígeo.

Músculo elevador del ano (Fig. 20).

Músculo perineal complejo constituido por diferentes porciones: pubococcígea, pubovaginal, puborectal e ileococcígea. Presenta unas amplias inserciones que se extienden desde el pubis, pared vaginal y arco tendinoso del músculo obturador interno, hasta el esfínter externo del ano, cóccix y rafe perineal, curvatura anal, cóccix y ligamento anococcígeo. La función principal de sus fibras es sostener las vísceras pelvianas e intervenir en la última fase de la defecación y en el parto.

Está inervado por ramos S3-S4 del plexo sacrococcígeo.

Músculo obturador externo (Fig. 21 y 22).

Músculo cubierto por el cuadrado femoral, cruza oblicuamente la cara posterior de la articulación de la cadera (coxo-femoral). Toma inserción en la cintilla subpúbica y en todo el contorno óseo del agujero obturado, así como en la membrana obturatriz, llegando hasta la fosa digital (fosa trocantérea) del fémur. Sobre la cadera, es un músculo aproximador y rotador externo.

Inervado por un ramo posterior del nervio obturador.

Músculo obturador interno (Figs. 23 y 24).

Músculo aplanado y radiado en abanico, que se extiende desde la cavidad pélvica hasta el trocánter mayor. Se sitúa una parte en la pelvis y otra en la región glútea, acodándose en ángulo recto entre ambas regiones.

Se inserta mediante fibras musculares en la parte interna de la membrana obturatriz, en la cara interna de la rama isquiopubiana, en una superficie ósea superior al agujero obturado (entre éste y la línea arqueada). A partir de las inserciones pélvicas las fibras convergen hacia la escotadura isquiática menor, reflejándose a este nivel en ángulo recto, para dirigirse hasta la cara medial del trocánter mayor mediante un fuerte tendón.

Es un músculo rotador lateral del muslo.

Inervado por ramas L5-S1 del plexo lumbosacro.

Músculo piramidal o piriforme (Fig. 25).

Músculo de morfología triangular que se extiende desde la cara anterior del sacro hasta la extremidad superior del fémur. Está ubicado una parte en la pelvis y otra en la región glútea. Nace de la cara anterior de las vértebras S2, S3 y S4 por medio de tres digitaciones musculares, a partir de estas inserciones pélvicas, el músculo se dirige lateral, anterior e inferiormente a través de la escotadura isquiática mayor para penetrar en la región glútea. Sigue el borde inferior de los músculos glúteos medio y menor, llegando hasta el borde superior del trocánter mayor.

Es un músculo rotador externo y abductor del muslo.

Está innervado por ramas L5-S1 del plexo lumbosacro.

ELEMENTOS VISCERALES (Figs. 26 a 30).

Útero (Fig. 27).

Es el órgano destinado a contener el óvulo fecundado durante su evolución y a expulsarlo cuando alcanza su desarrollo completo.

Situado en la línea media de la cavidad pélvica, entre la vejiga y el recto, superiormente a la vagina e inferiormente a las asas intestinales y al colon sigmoideo.

Su morfología es la de un cono truncado aplanado anteroposteriormente, cuyo vértice se orienta inferiormente.

En la parte media baja, presenta un estrangulamiento llamado istmo del útero, el cual divide al útero en una porción superior o cuerpo y otra inferior o cuello uterino.

En las mujeres nulíparas, el útero mide por término medio 7,5 cm de longitud, 4 cm de anchura a nivel del cuerpo y 2,5 cm en el cuello. Estas medidas se incrementan ligeramente en las mujeres multíparas.

En una mujer con la vejiga y el recto vacíos o poco distendidos, el útero se encuentra en anteflexión y anteversión a la vez.

Vagina (Fig. 28).

Conducto que se extiende desde el cuello uterino hasta la vulva. Situada en la cavidad pélvica, anteriormente al recto, posteriormente a la vejiga e inferiormente al útero.

Su dirección es oblicua inferoanteriormente, y forma con la horizontal un ángulo de aproximadamente 70 °, abierto posteriormente.

Su longitud, es por término medio de unos 8 cm.

El extremo superior tiene forma de una cúpula cuya concavidad corona la porción intravaginal del cuello uterino. El extremo inferior está aplanado transversalmente.

Trompas uterinas (Fig. 29).

Las trompas uterinas o de Falopio son dos conductos que se extienden a lo largo del borde superior de los ligamentos anchos del útero, desde los ángulos laterales del útero hasta la superficie del ovario.

Su longitud oscila entre los 10 y los 14 cm. En ellas se diferencian cuatro porciones o segmentos: infundíbular, ampular, ístmica y uterina. A excepción de la porción uterina, el resto de los segmentos están contenidos en el ligamento ancho del útero, ocupando el borde superior de este.

Ovarios (Fig. 29).

Órganos pares productores de las células sexuales femeninas (óvulos) y de las hormonas sexuales femeninas (estrógenos y progesterona).

Presentan una morfología ovoidea. Presenta dos caras, lateral y medial; dos bordes, mesoovárico y libre; y dos extremidades, tubárica y uterina. Su aspecto varía con el curso de la evolución de la mujer. Mientras que en la pubertad presenta una superficie lisa, con la edad se vuelve más irregular debido a los folículos de Graaf y las cicatrices que dejan la rotura de estos folículos. Después de la menopausia los ovarios disminuyen de volumen y los salientes foliculares y las cicatrices se atenúan, volviéndose de nuevo la superficie lisa y regular como en el periodo de la pubertad.

La consistencia de los ovarios es firme, y su coloración es blanca rosácea.

Los ovarios se encuentran prácticamente libres y descubiertos en la cavidad peritoneal. Únicamente su borde mesoovárico y sus extremidades se unen por una parte al ligamento ancho del útero mediante un corto meso y por otra a la trompa uterina y al útero por medio de ligamentos cubiertos por el peritoneo.

Vejiga (Fig. 30).

Reservorio en el cual la orina, que llega por los uréteres, se acumula en el intervalo de las micciones. Su forma y dimensiones varía dependiendo de la cantidad de orina que contenga, así como de la edad y el sexo.

En el adulto, cuando está vacía, se localiza enteramente dentro de la cavidad pelviana, posteriormente a al sínfisis púbica y al pubis. En la mujer es superior al suelo de la pelvis y anterior al útero y a la vagina. En la mujer, la cantidad de orina que contiene cuando se presenta el deseo de orinar oscila entono a los 400 centímetros cúbicos, capacidad fisiológica) siendo más ensanchada que en el varón. No obstante la capacidad máxima puede alcanzar incluso hasta los 2 litros si la repleción se produce lentamente.

Recto (Fig. 30).

Corresponde al segmento terminal del tubo digestivo. Desciende anteriormente al sacro y al cóccix. Continúa al colon sigmoideo y empieza donde finaliza el mesocolon, es decir, a la altura del cuerpo de la tercera vértebra sacra. Termina en el ano.

Presenta dos curvaturas anteroposteriores: la flexura sacra, superior y cóncava anteriormente; y la flexura perineal, inferior y cóncava posteriormente.

Se diferencian dos segmentos: uno superior o pélvico, contenido en la cavidad pélvica; y otro inferior y perineal, denominado conducto anal, comprendido en el espesor de la pared inferior de la pelvis o periné.

Su longitud es de nos 14 cm por término medio. Sus paredes son muy extensibles. Cuando se encuentra distendido, la ampolla rectal ocupa toda la anchura de la cavidad pélvica.

Nuestro desarrollo informático permite representar e interactuar con 2 tipos de elementos visuales principales: Planos y Modelos. (Figuras 31 y 32), por otra parte siempre podrá ubicar la imagen en el plano que desee con la opción de Visualización (Figuras 31 y 32).

Todas las interacciones con los elementos de la escena visual (rotaciones, traslaciones, zoom y selección) se realizan situando el cursor sobre el visor, usando el ratón.

Rotaciones:

Para rotar la imagen del visor, mantener pulsado el botón principal (izquierdo) del ratón mientras se desplaza el cursor sobre la pantalla.

Traslaciones:

Para trasladar la imagen del visor en el plano de la pantalla, mantener pulsados los dos botones del ratón mientras se desplaza el cursor.

Zoom:

Para ampliar o reducir el tamaño de la imagen que se muestra en el visor, mantener presionado el botón secundario del ratón desplazando el cursor hacia arriba (ampliar) o hacia abajo (reducir). (Figs. 34 y 35).

Selección:

Haciendo clic en el visor, sin mover el ratón, se seleccionará el plano - modelo sobre el que se pulse.

El plano seleccionado se puede desplazar a lo largo de su eje manteniendo pulsada la tecla mayúsculas, mientras desplaza el ratón por la pantalla sin mantener pulsado ningún otro botón del ratón.

La vista resultante de realizar rotaciones, traslaciones o zoom puede ser almacenada mediante fichero a través del botón al efecto, que permite guardar la escena representada en el visor en un fichero con formato bitmap (.bmp), mediante la opción capturar imagen, situada en la parte superior de la columna de acciones. (Fig. 36)

La pantalla en la que interaccionan el Visor y su configuración, el botón *Planos* contiene los controles necesarios para manejar las imágenes seccionales de la pelvis femenina que se presentan en el visor.

Existen tres planos de orientación: *Plano Sagital* (lateral), *Plano Axial* (horizontal) y *Plano Coronal* (frontal); estas opciones se muestran en la opción de visualización (Fig. 32),

Cada plano posee un control de selección para activar o desactivar su visibilidad, otro para visualizar una rejilla, (Fig. 32 y 37) además de una barra de desplazamiento que permite cambiar su posición. También podremos cambiar la posición del plano seleccionado, moviendo el cursor horizontalmente sobre el visor, mientras se pulsa Mayúsculas, sin mantener pulsado ningún botón del ratón.

El botón *Modelos* (Fig. 32) controla las estructuras anatómicas a representar mediante modelos tridimensionales (3D).

Los botones *Mostrar Todos* y *Ocultar Todos* (Fig. 36), permiten de una forma rápida ver cómo se integran perfectamente los modelos en los planos de corte (si éstos están visibles) así como hacer desaparecer todos los modelos 3D del visor.

Podremos en la configuración, seleccionar / deseleccionar los modelos de forma independiente e ir visualizándolos según la selección realizada al efecto en el apartado del desplegable, donde se podrá observar la lista de todas las estructuras (modelos 3D) disponibles. El cuadro de selección Visible permite activar o desactivar la visibilidad del modelo seleccionado, que aparecerá enmarcado en su color. Seleccionando sobre el color podremos modificar éste. Pueden seleccionarse sucesivamente varios modelos para su visualización simultánea. Con el deslizador podremos controlar la opacidad y transparencia del modelo

El cuadro de texto inferior muestra una breve descripción en relación con el modelo-3D seleccionado.

Para ocultar la información científica y técnica mostrada en pantalla, habrá que pulsar sobre la opción *Textos técnicos en pantalla*

Todo nuestro sistema informático, está controlado a la voluntad del usuario, por lo tanto existe una verdadera interacción entre el ordenador y el usuario, evitando, en la medida de lo posible, que éste último se convierta en mero espectador.

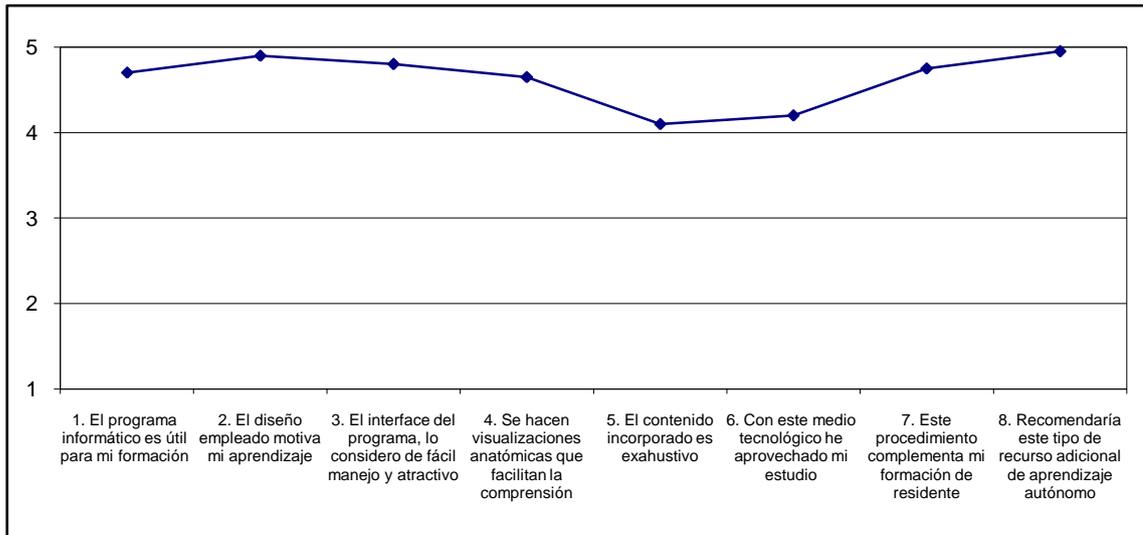
El modelo informático fue testado y valorado por distintos profesionales del área de la ginecología y radiología. Para ello, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción del programa informático con el objetivo de valorar y comprobar su eficacia.

La valoración fue practicada sobre un grupo de residentes voluntarios (n=30), de los servicios de ginecología y radiología de diferentes centros hospitalarios nacionales. La encuesta se llevó a cabo en los siguientes términos que se reflejan en la tabla adjunta.

*Valore el grado en que está de acuerdo con las siguientes cuestiones
(1 = Totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo):*

| | | | | | | |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1 ^a | Considero que el programa informático es útil para mi formación como residente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2 ^a | La metodología empleada motiva mi aprendizaje | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 ^a | La interfaz del programa, lo considero de fácil manejo y atractivo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4 ^a | Se han hecho visualizaciones de estructuras anatómicas que facilitan la comprensión | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5 ^a | El contenido incorporado es exhaustivo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 ^a | Con este medio tecnológico he aprovechado mi estudio | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7 ^a | Este procedimiento complementa mi formación médica de residente. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8 ^a | Recomendaría este tipo de recurso adicional de aprendizaje autónomo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Las medias de los datos obtenidos que muestran en la gráfica, reflejan que los usuarios valoran muy positivamente la aplicación informática, mostrando un alto grado satisfacción con el desarrollo didáctico empleado.



Por otra parte, los usuarios han manifestado que el empleo de este recurso informático, como material de apoyo y complementario a su proceso de formación médica, suponen una facilidad para mejorar los resultados de la evaluación de los conocimientos adquiridos durante su proceso formativo. Posiblemente estos sistemas de consulta interactivos, motivan al estudio al tratarse de medios muy dinámicos y atractivos para los usuarios.

Parece claro que estamos abocados a un futuro, en donde estos sistemas de visualización tridimensional de estructuras corporales, se está imponiendo fuertemente, incrementándose cada vez más la lista de nuevas aplicaciones. Estos sistemas de simulación en tres dimensiones, permiten llevar a cabo pruebas y experimentos evitando así un elevado costo, y en ocasiones un grado de peligrosidad en ciertas tareas. Es obvio, que un ordenador no puede sustituir la experiencia directa, pero, en muchas ocasiones, debido a la imposibilidad de acceder a estas experiencias, es donde la simulación con ordenador resulta un instrumento auxiliar muy valioso. Este fenómeno del que apenas en nuestro país empezamos a entrever sus posibilidades, jugará un papel importante en los métodos de enseñanza de las ciencias experimentales y de la salud, y sin duda, cambiará el rumbo de nuestros sistemas docentes.

Tras la experiencia realizada con este trabajo, podemos concluir este apartado de nuestra Tesis Doctoral señalando, que nuestro procedimiento docente

constituye una herramienta informática rigurosamente cuidada y elaborada, y en la que han colaborado diferentes profesionales (anatomistas, ginecólogos, radiólogos e informáticos), para que los usuarios, en el campo de las ciencias de la salud, puedan desarrollar, de forma autónoma, todo el proceso de enseñanza-aprendizaje como si estuviera guiado por el profesor o el tutor, que es quien ha coordinado y controlado toda la acción didáctica.

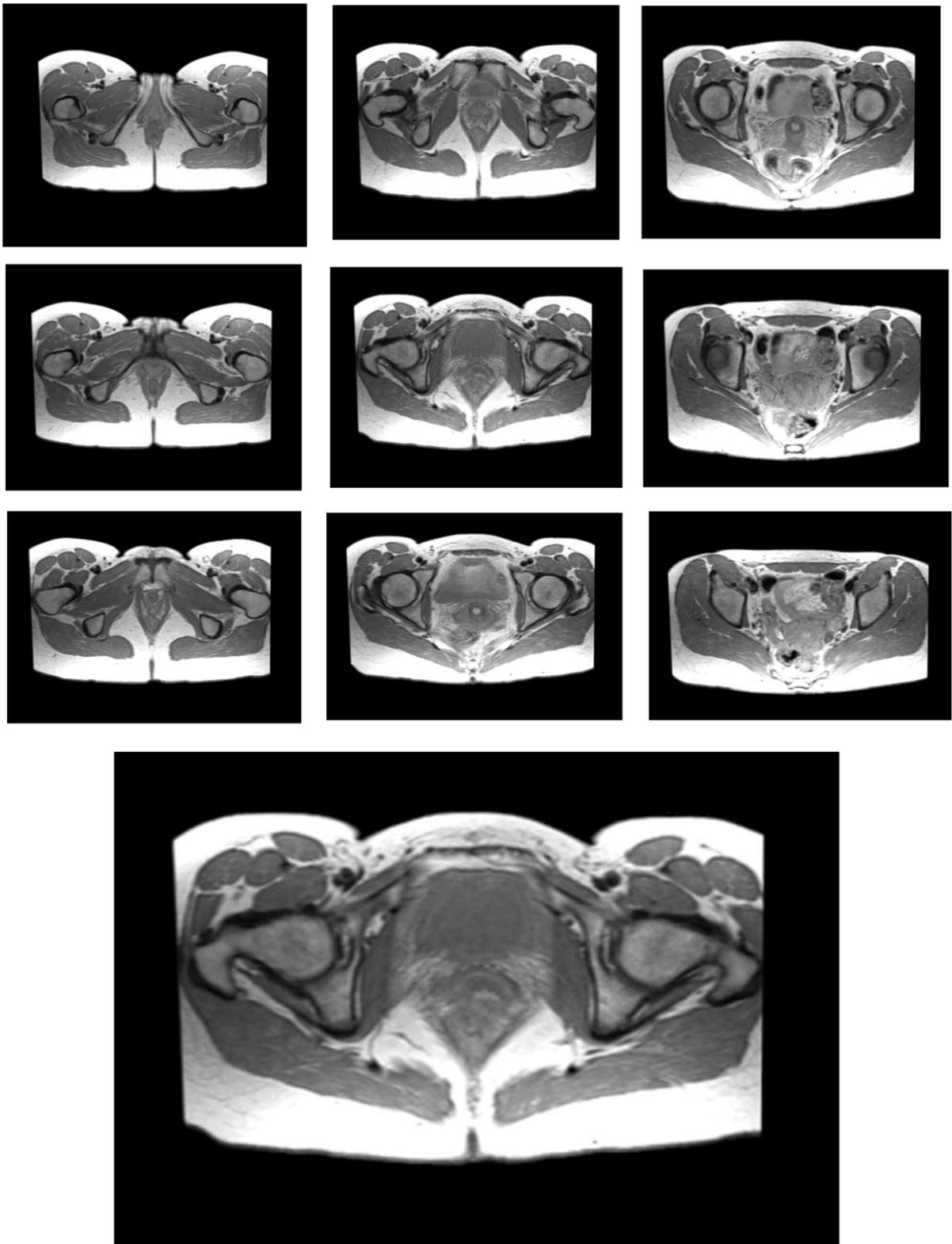


Figura 1.- Cortes tomodensitométricos seriados, de Resonancia Magnética, en plano axial, para la identificación y delimitación de las estructuras anatómicas a estudio.



Figura 2.- Cortes tomodensitométricos seriados, de Resonancia Magnética, en plano coronal o frontal, para la identificación y delimitación de las estructuras anatómicas a estudio.

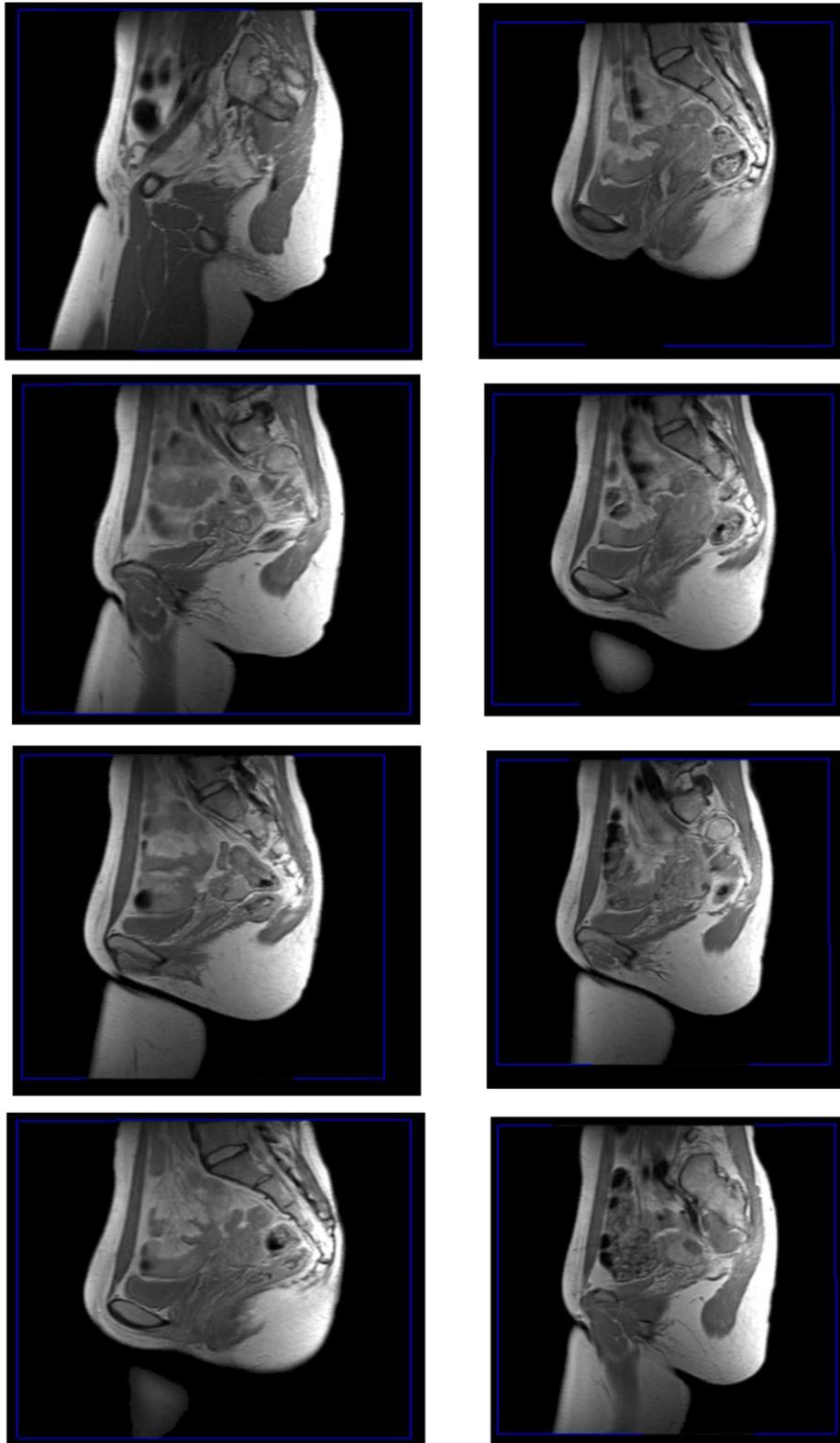


Figura 3.- Cortes tomodensitométricos seriados, de Resonancia Magnética, en plano sagital, para la identificación y delimitación de las estructuras anatómicas a estudio.

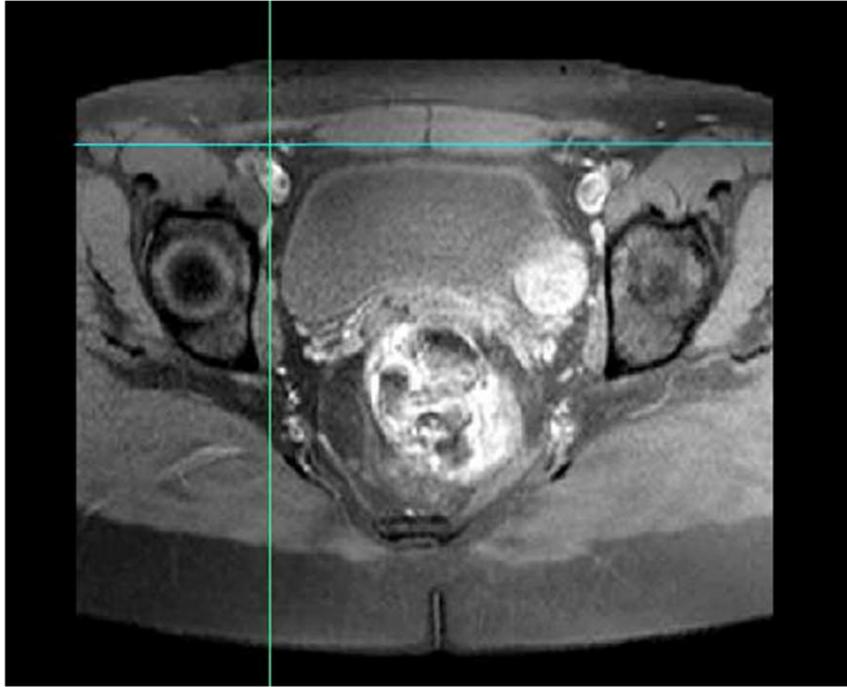


Figura 4.- Imagen de Resonancia Magnética, en plano axial, potenciada en T2.



Figura 5.- Imagen de Resonancia Magnética, en plano axial, ponderada en Densidad protónica, que muestra una buena relajación señal-ruido, proporcionándonos un excelente análisis anatómico de las estructuras de la pelvis.

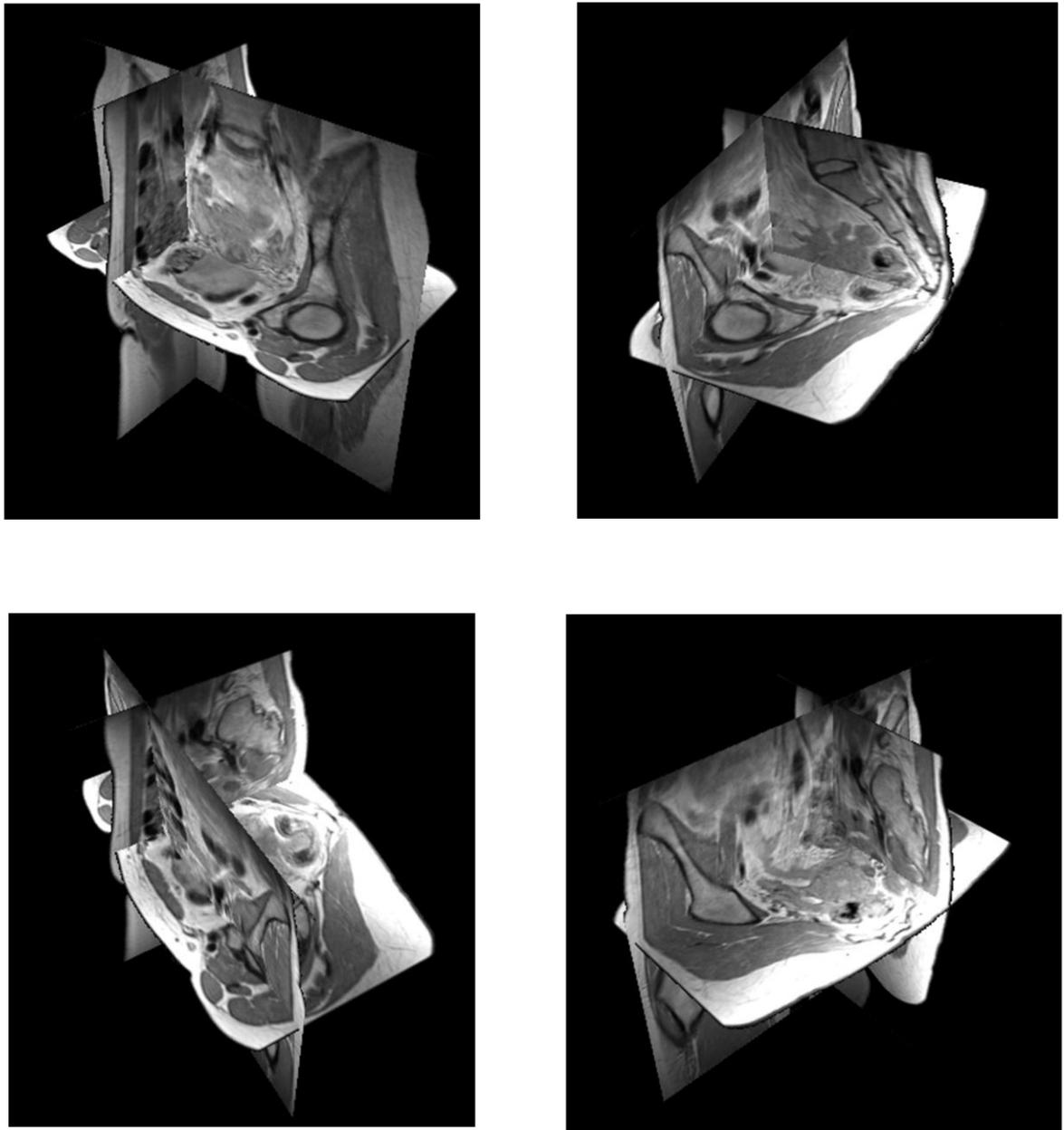


Figura 6.- Visualización de distintos cortes tomodensitométricos de Resonancia Magnética, en los tres planos del espacio: axial, coronal y sagital, observados simultáneamente.

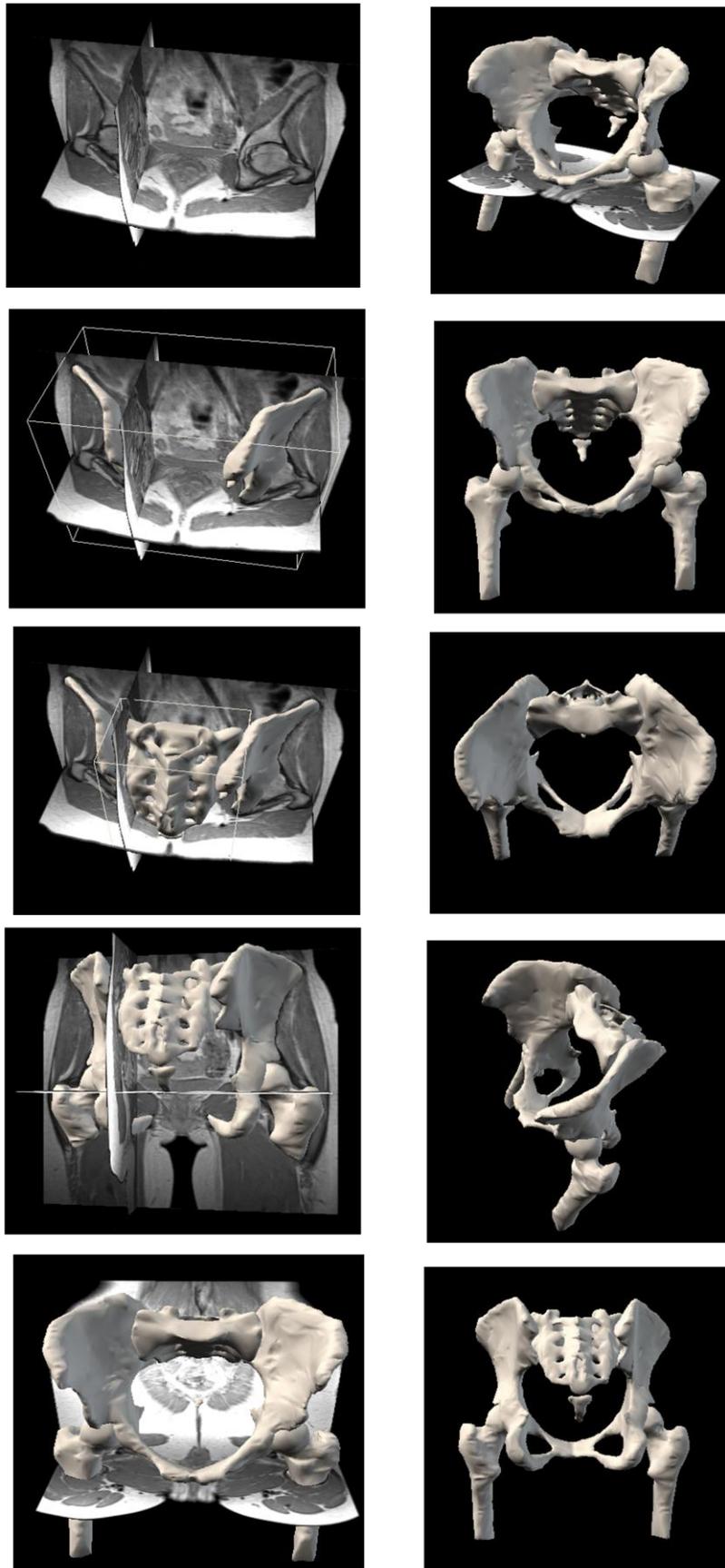
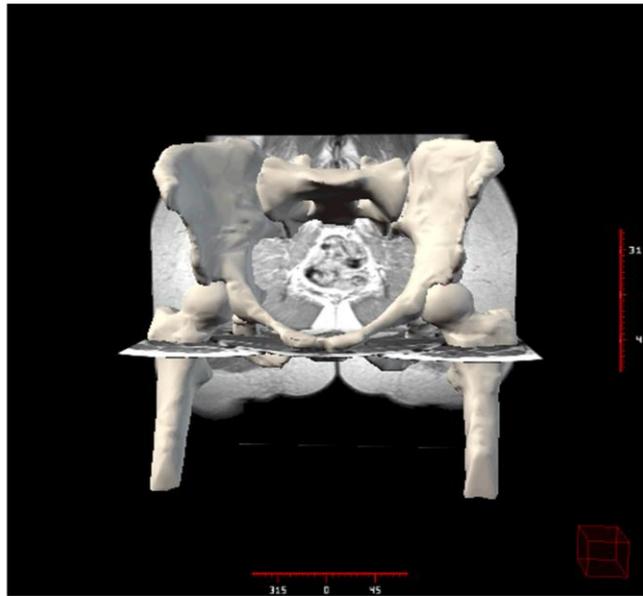


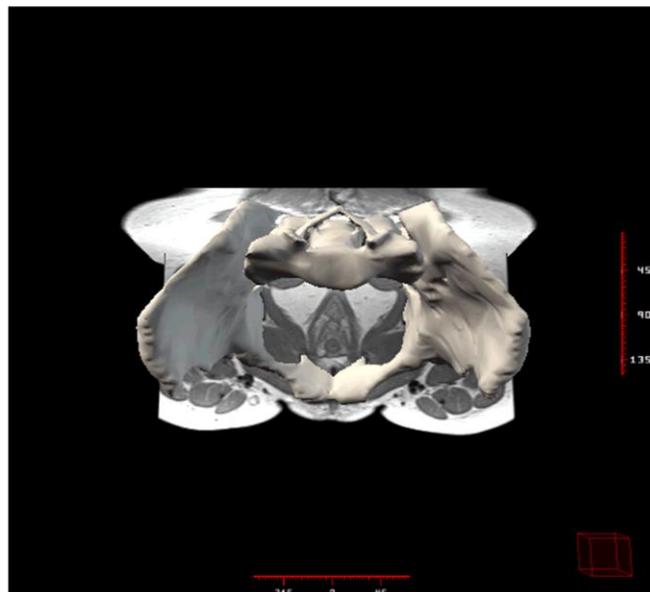
Figura 7.- Visualización tridimensional de la pelvis ósea reconstruida desde las secciones de RM, correlacionadas con los cortes simultáneos en los tres planos. Se aprecian perfectamente, los detalles óseos de los huesos que configuran la pelvis.



a



b



c

Figura 8.- Visualización tridimensional de la pelvis ósea, en diferentes posiciones espaciales, correlacionadas con secciones de RM, a partir de las cuales se generó su reconstrucción.

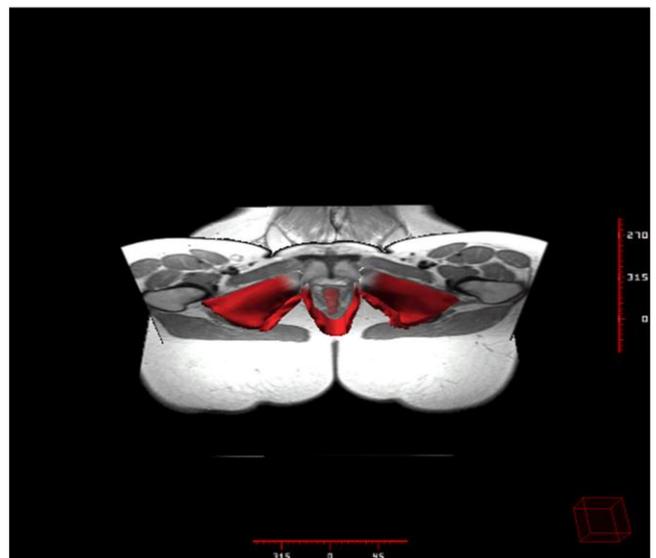
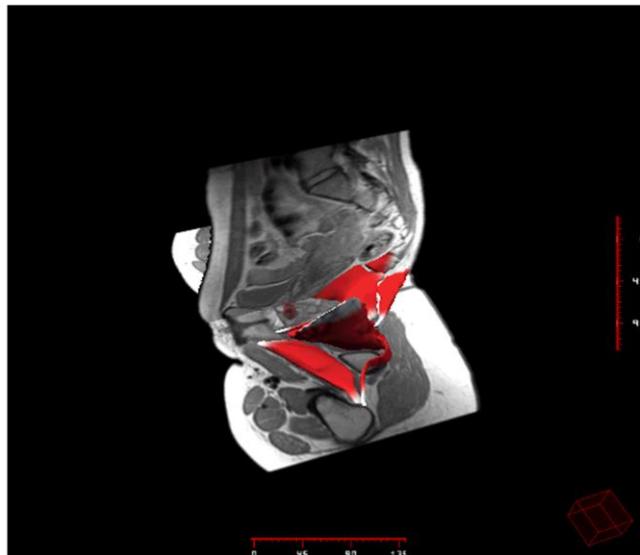
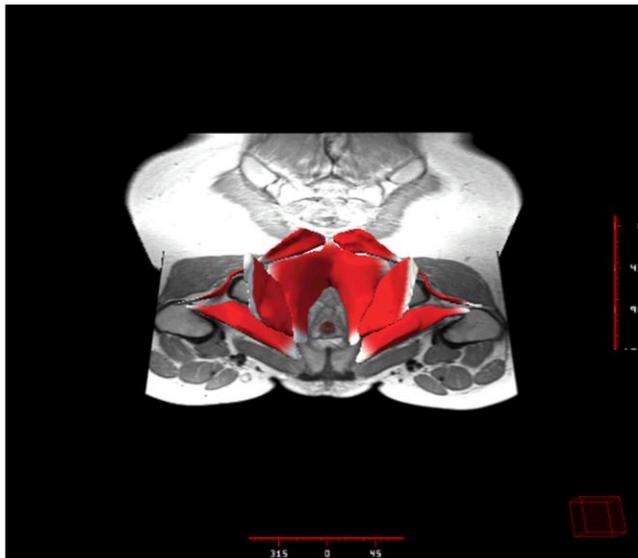


Figura 9.- Visualización tridimensional de algunos elementos musculares reconstruidos desde las imágenes seccionales de RM, en diferentes planos de rotación espacial, y correlacionados con cortes de RM.

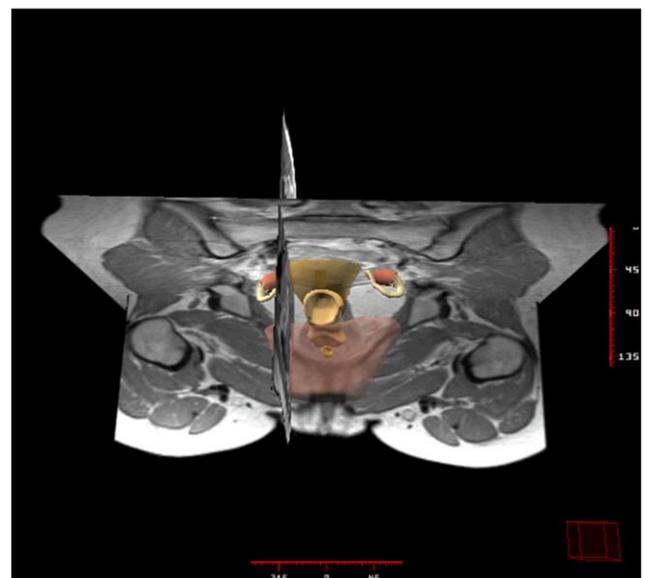
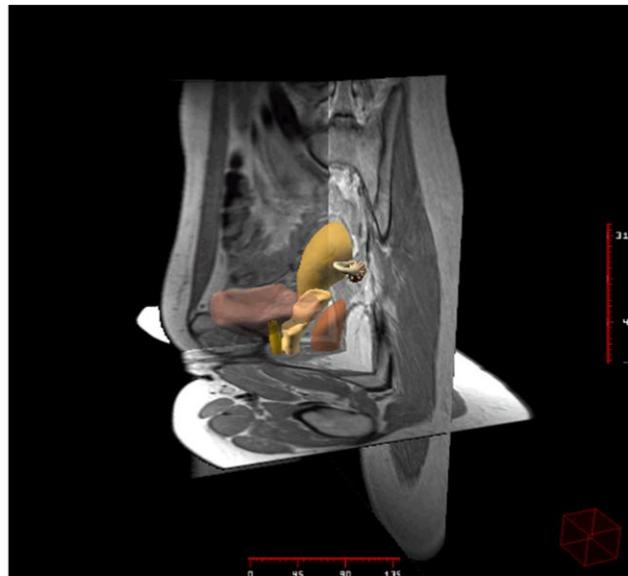
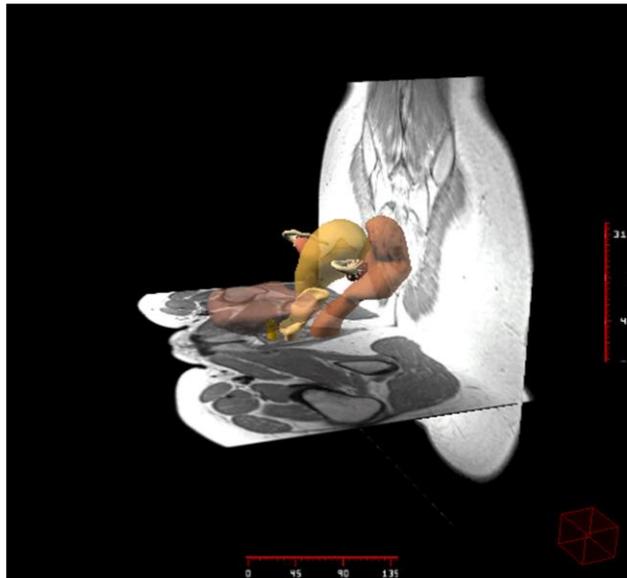


Figura 10.- Visualización tridimensional, en diferentes planos de rotación espacial, de los elementos viscerales de la pelvis femenina, reconstruidos desde los cortes seriados de RM en los tres planos (axial, coronal y sagital), y correlacionados con las secciones de RM correspondientes.

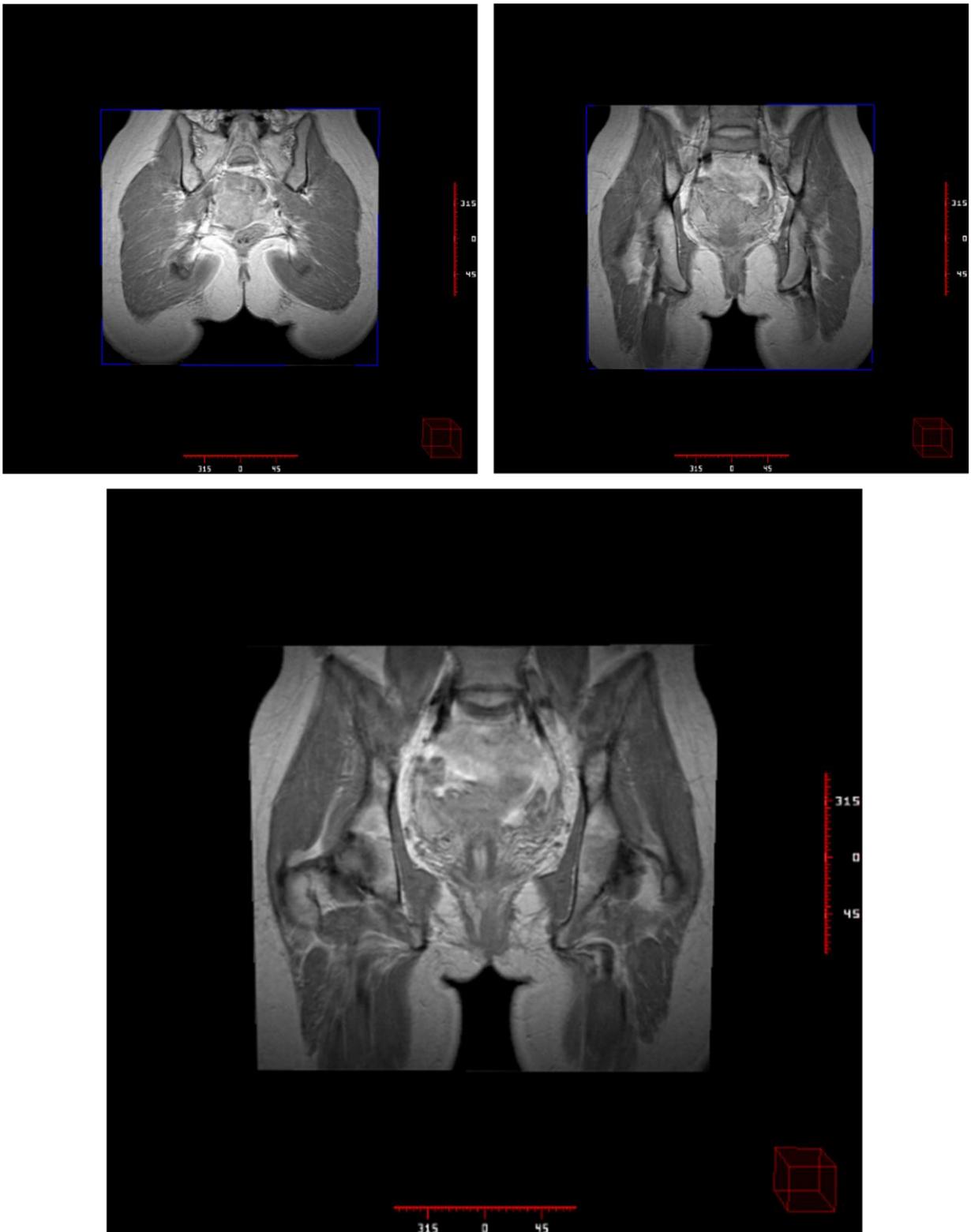
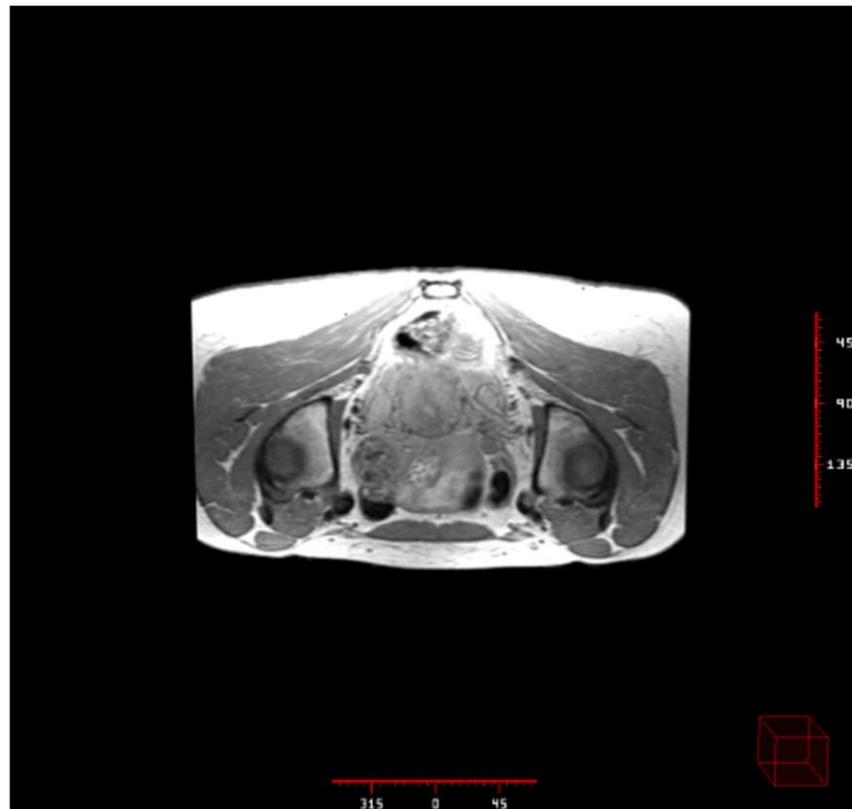


Figura 11.- Secuencia de imágenes coronales de RM a nivel del útero. Se diferencia por sus distintas intensidades de señal entre las diversas partes del útero; siendo más intensa en la zona central y de menor intensidad en las partes periféricas



a



b

Figura 12.- Corte axial (a) y coronal (b) de Resonancia Magnética, donde se aprecian los ovarios por la intensidad de marcada señal periférica que los rodea.

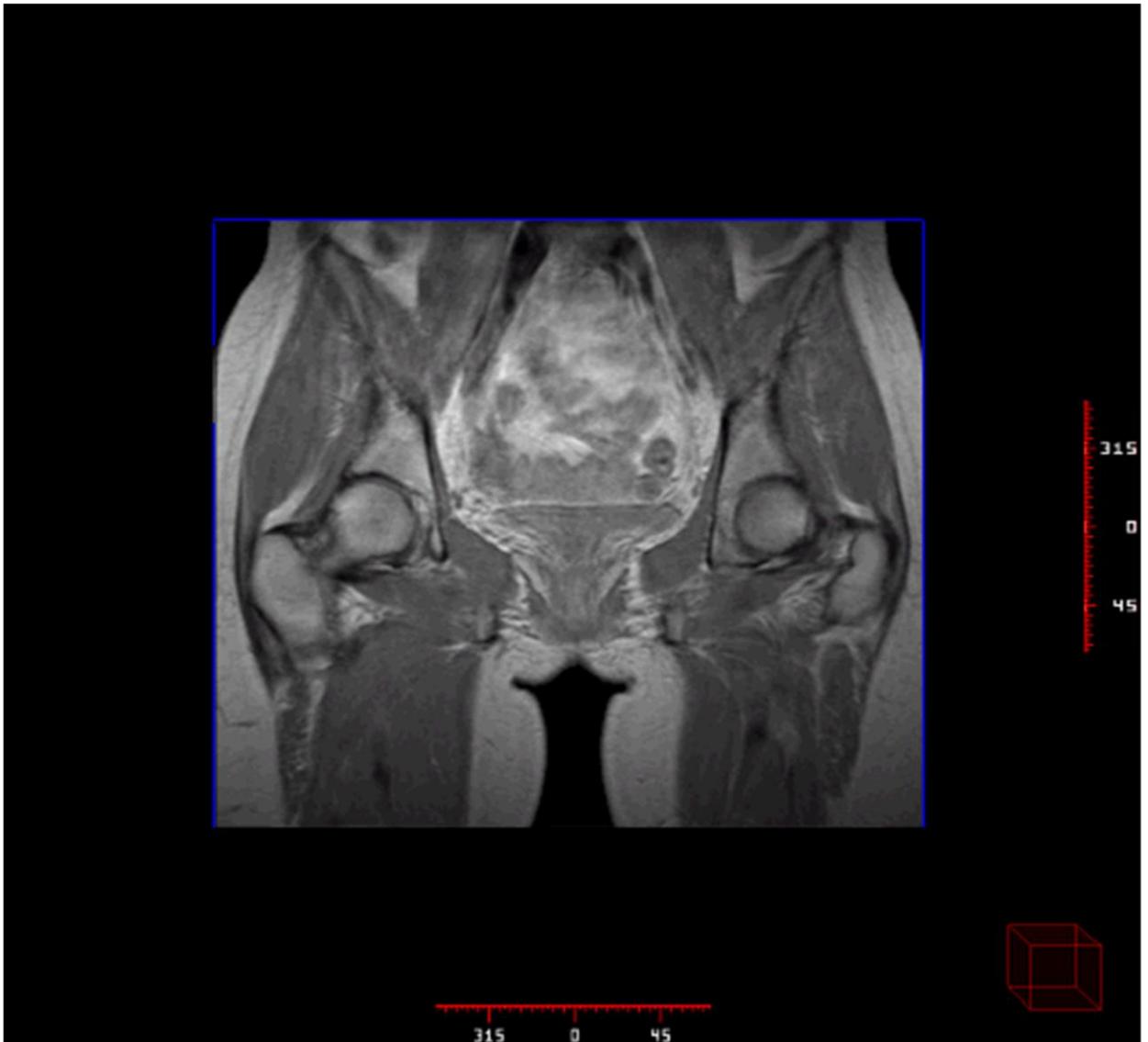


Figura 13.- Imagen coronal de RM a nivel de la vagina. Se distinguen sus paredes por la poca intensidad de señal, en contraste con la grasa que la rodea.

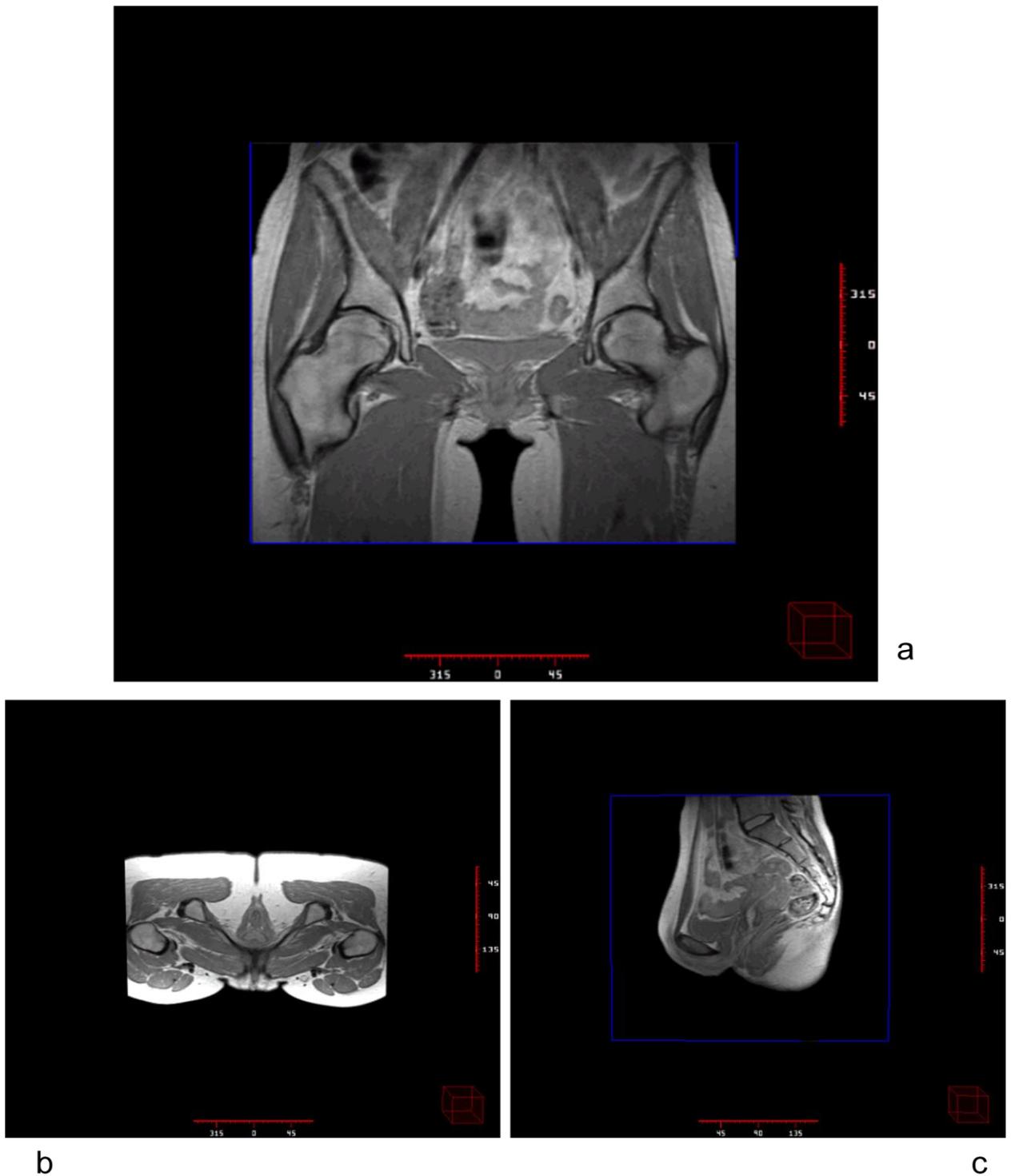


Figura 14.- Imágenes de Resonancia Magnética en los planos coronal (a) axial (b) y sagital (c) con una buena intensidad de señal de la uretra, debido a su vascularización.

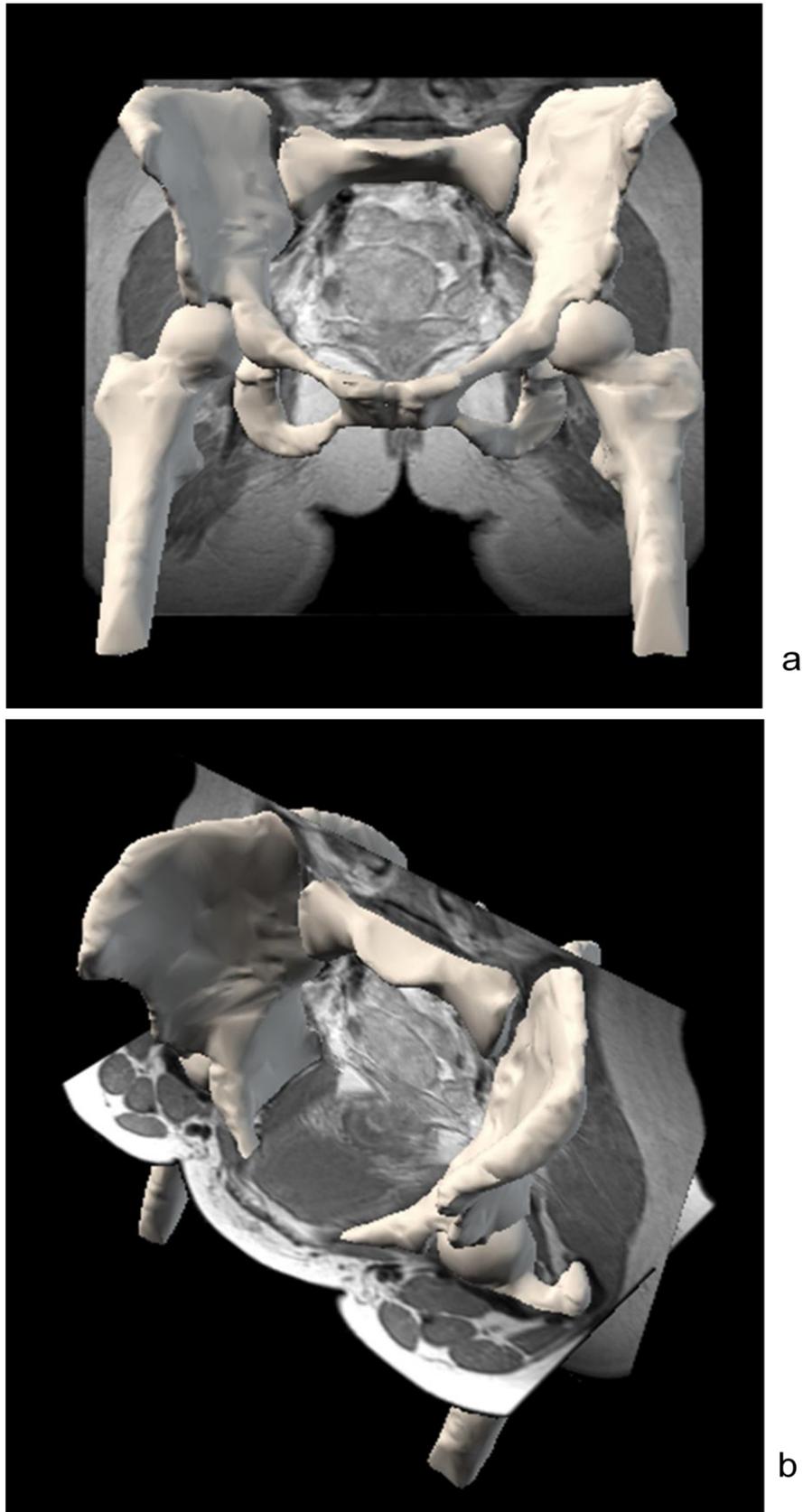
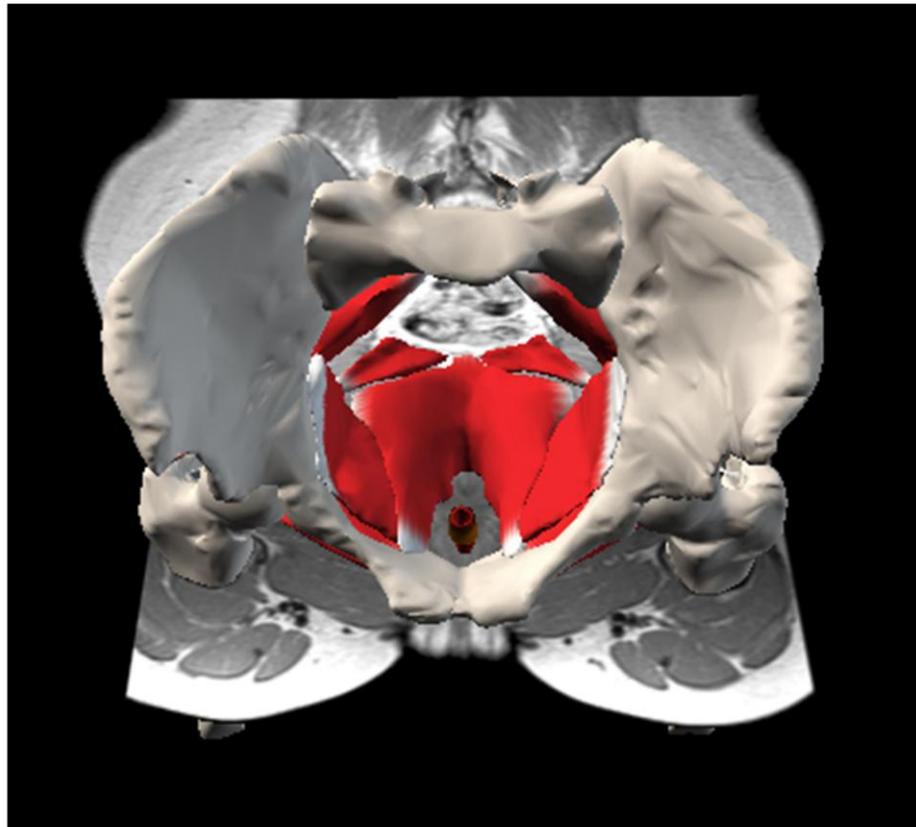
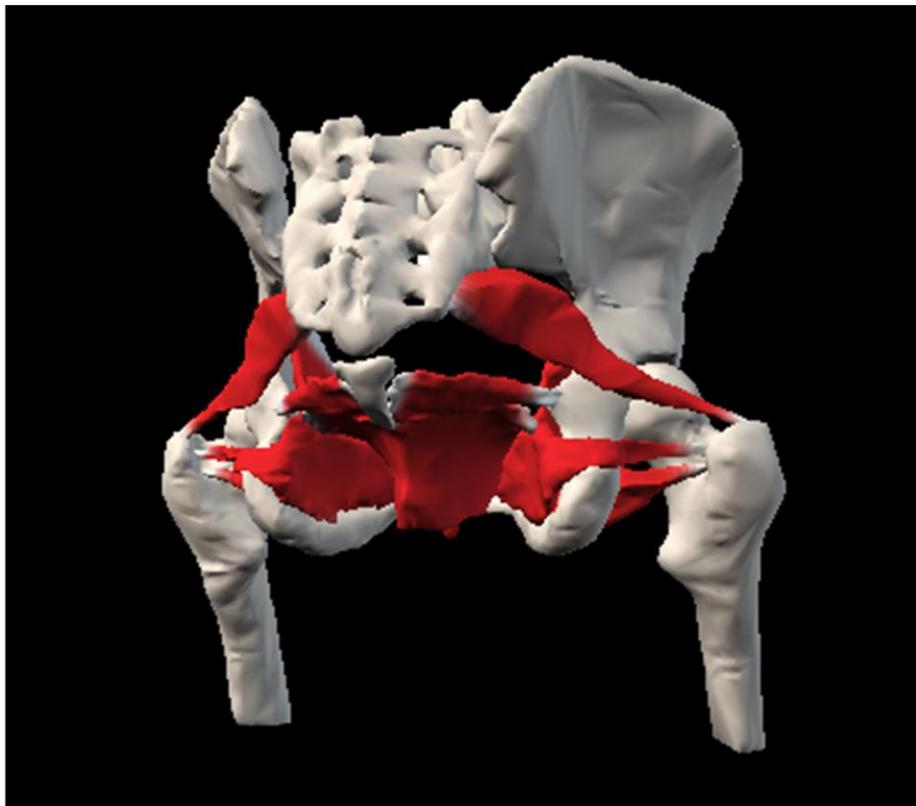


Figura 15.- Detalle de la pelvis ósea reconstruida tridimensionalmente desde secciones de RM, correlacionadas con algún corte tomodensitométrico. En las imágenes se observan los detalles óseos de los huesos que configuran la pelvis, así como su posición, articulación y relaciones.



a



b

Figura 16.- Detalle de la pelvis con reconstrucción tridimensional de estructuras óseas y algunos músculos, observables en diferentes planos de visualización. Visión superior (a) y posterior (b).

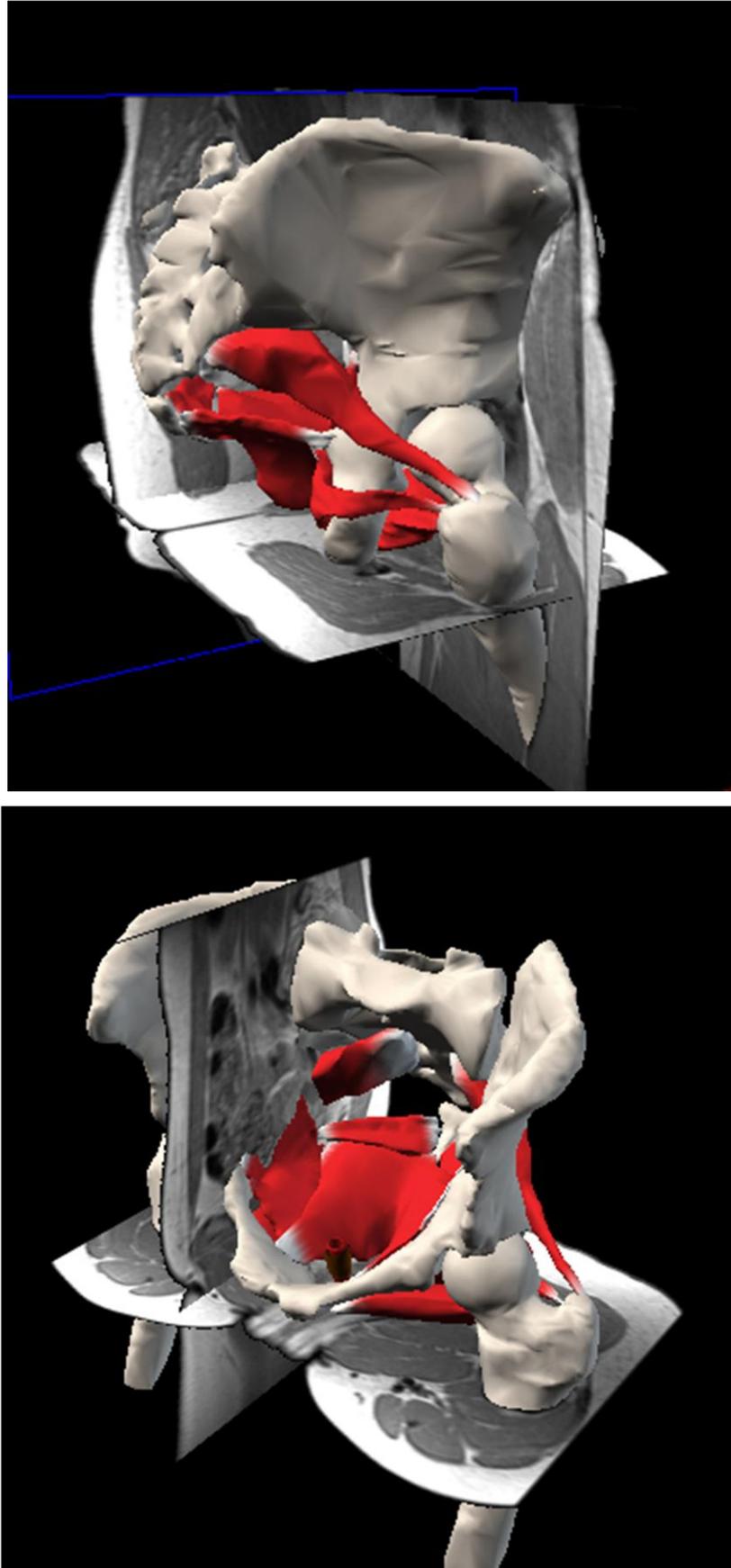


Figura 17.- Detalle de la pelvis con reconstrucción tridimensional de estructuras óseas y algunos músculos, observables en diferentes planos de visualización, correlacionados con secciones de Resonancia Magnética.



Figura 18.- Detalle de la pelvis con reconstrucción tridimensional de estructuras óseas y algunos músculos, observable en una visión superior.

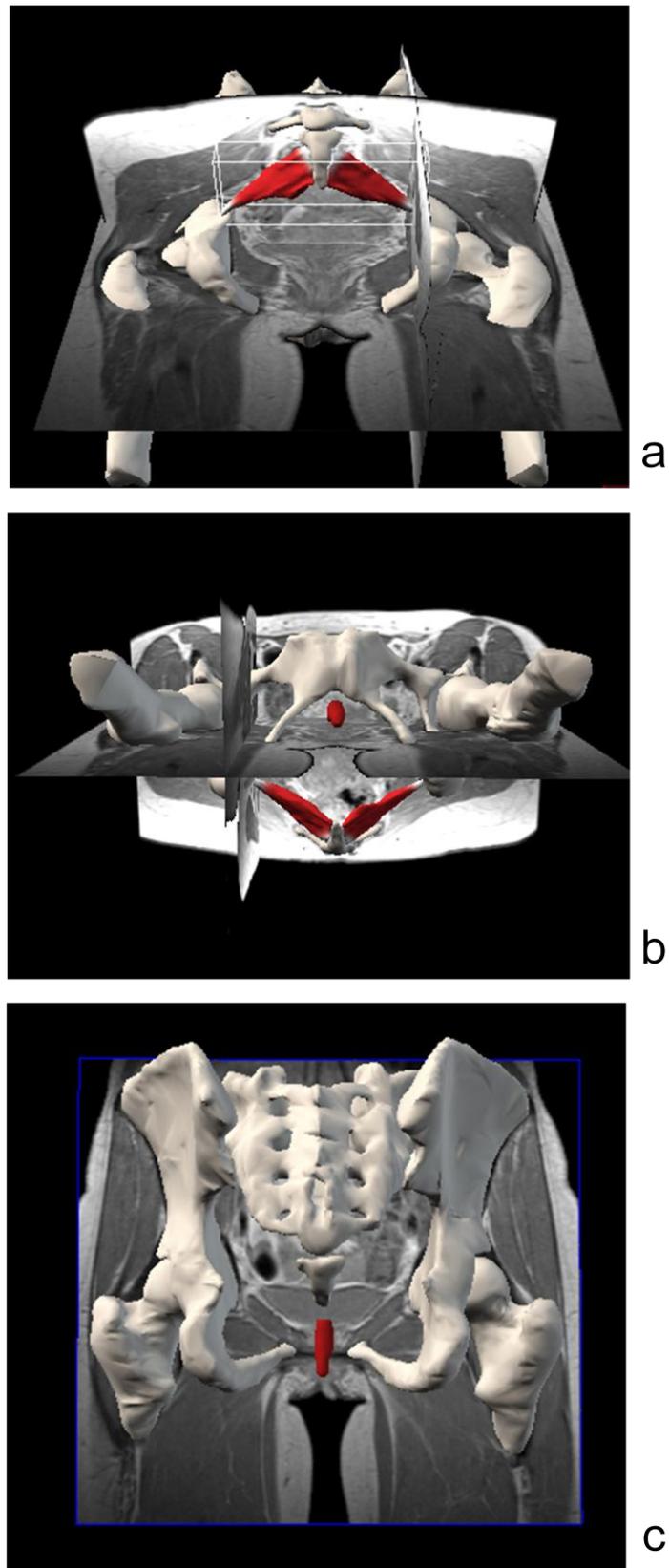


Figura 19.- Detalle de la pelvis con reconstrucción tridimensional de estructuras óseas y algunos músculos, observables en diferentes planos de visualización; a: póstero-inferior (músculo coccigeo), b: inferior (músculo de la uretra) y c: posterior (músculo de la uretra).

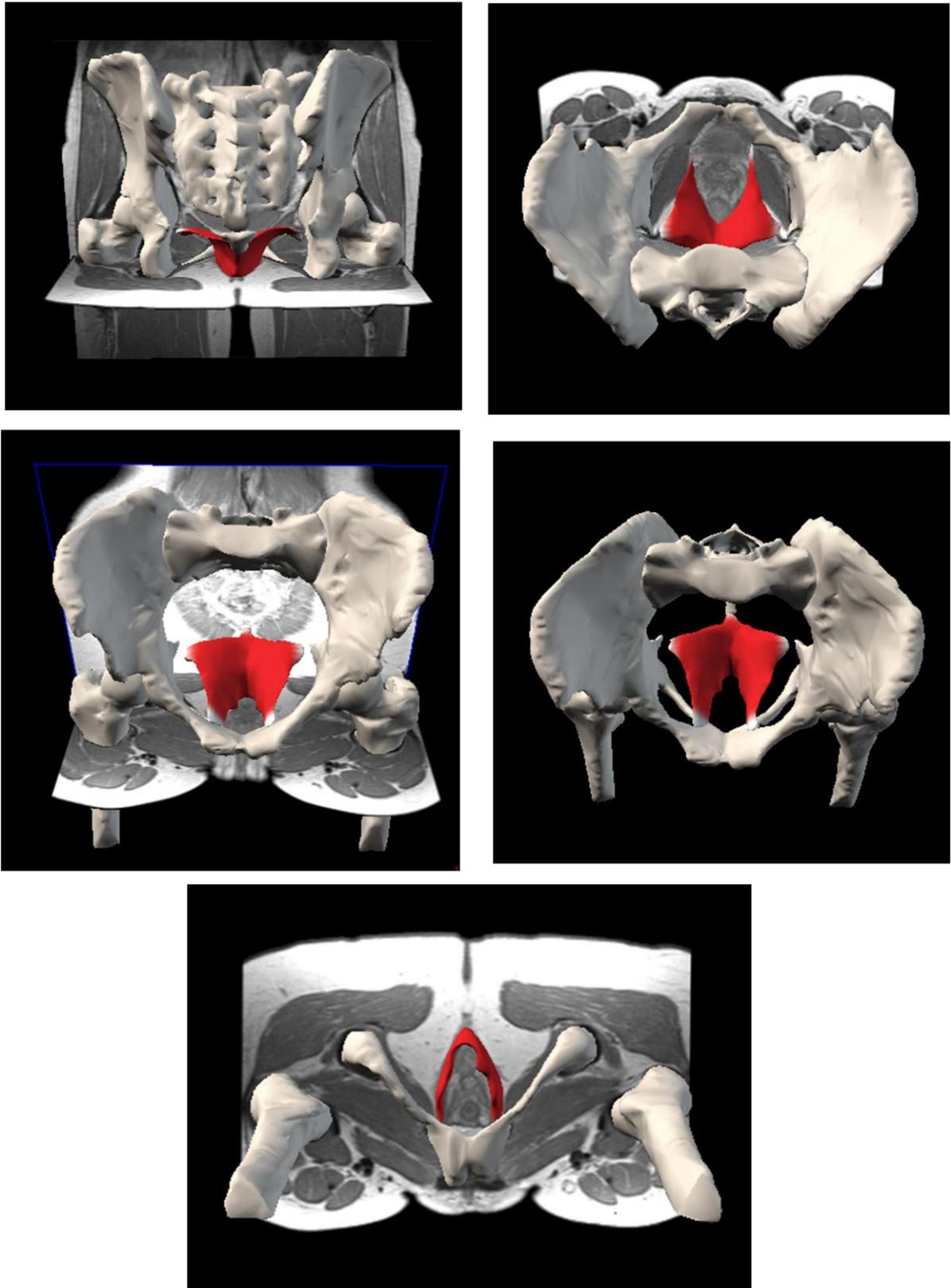


Figura 20.- Diferentes planos de visualización de las estructuras óseas pélvicas y del *músculo elevador de ano*, reconstruidas en tres dimensiones a partir de las secciones seriadas de Resonancia Magnética.

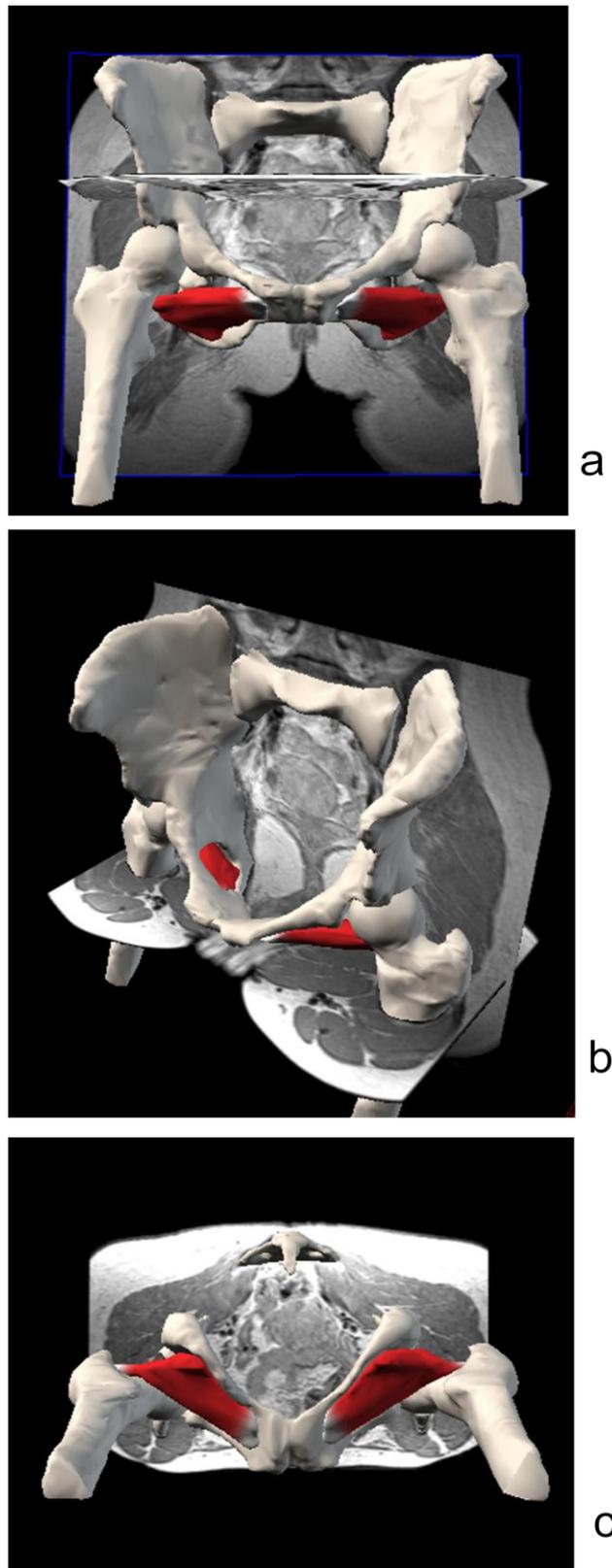


Figura 21.- Diferentes planos de visualización de la pelvis femenina en que se muestran las estructuras óseas y el *músculo obturador externo*, generados a partir de las secciones seriadas de Resonancia Magnética.

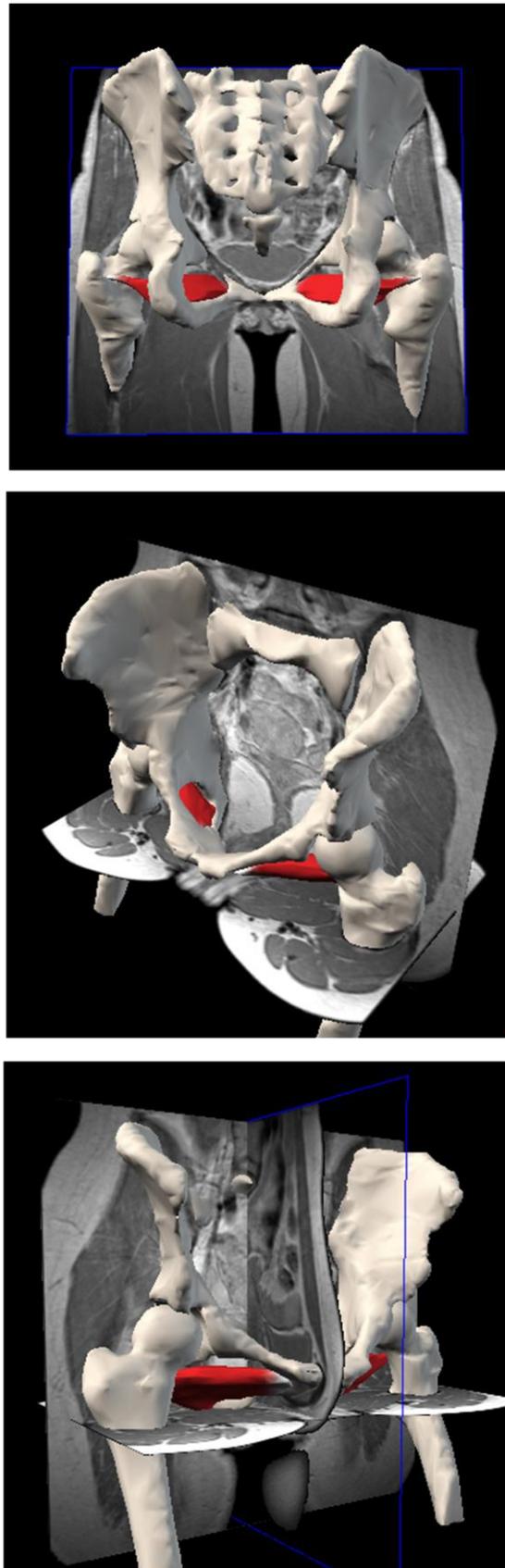


Figura 22.- Otros planos de visualización de la pelvis femenina en que se muestran las estructuras óseas y el *músculo obturador externo*, generados a partir de las secciones seriadas de Resonancia Magnética.

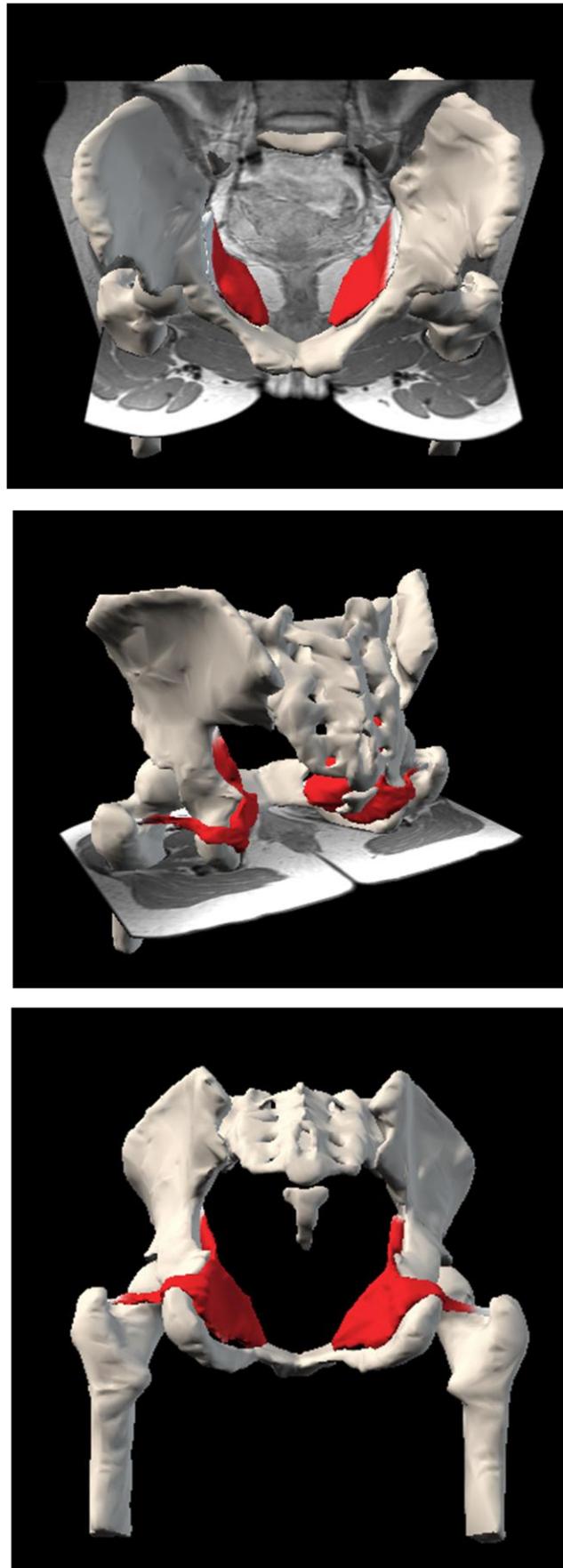


Figura 23.- Visualización tridimensional del músculo obturador interno posicionado dentro de la pelvis ósea.

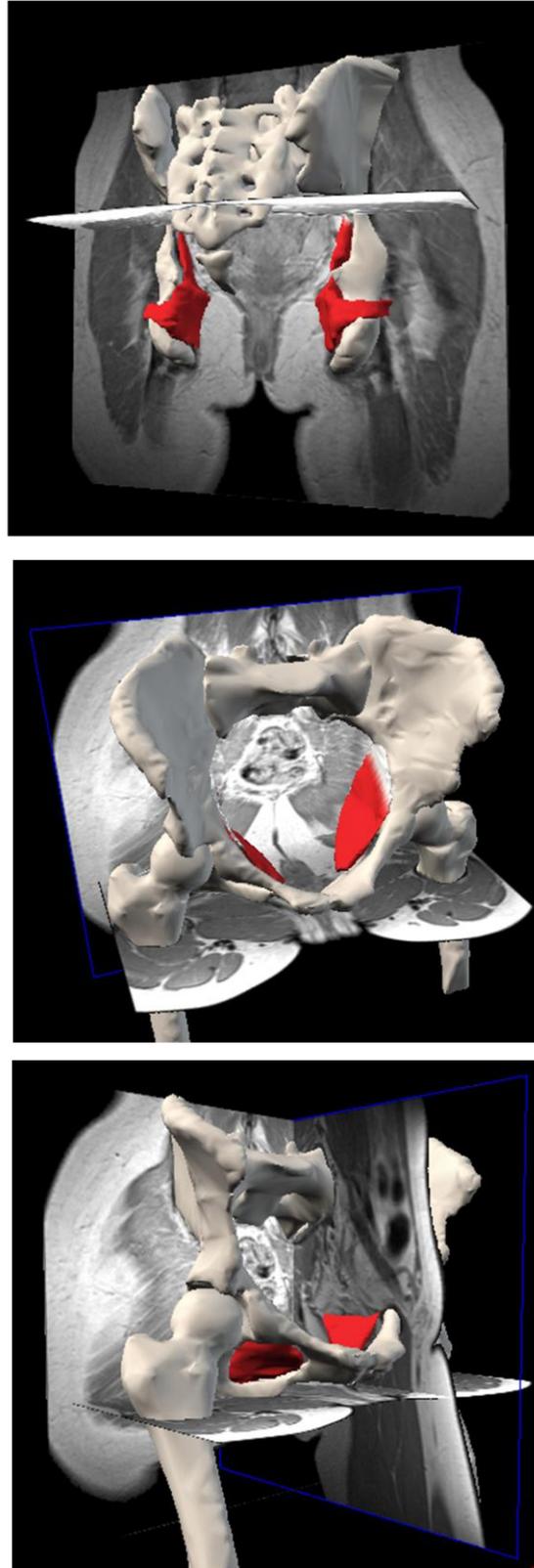


Figura 24.- Diferentes planos de visualización de la pelvis femenina en que se muestran las estructuras óseas y el *músculo obturador interno*, correlacionadas con secciones seriadas de Resonancia Magnética, a partir de las cuales se han generado los modelos tridimensionales.

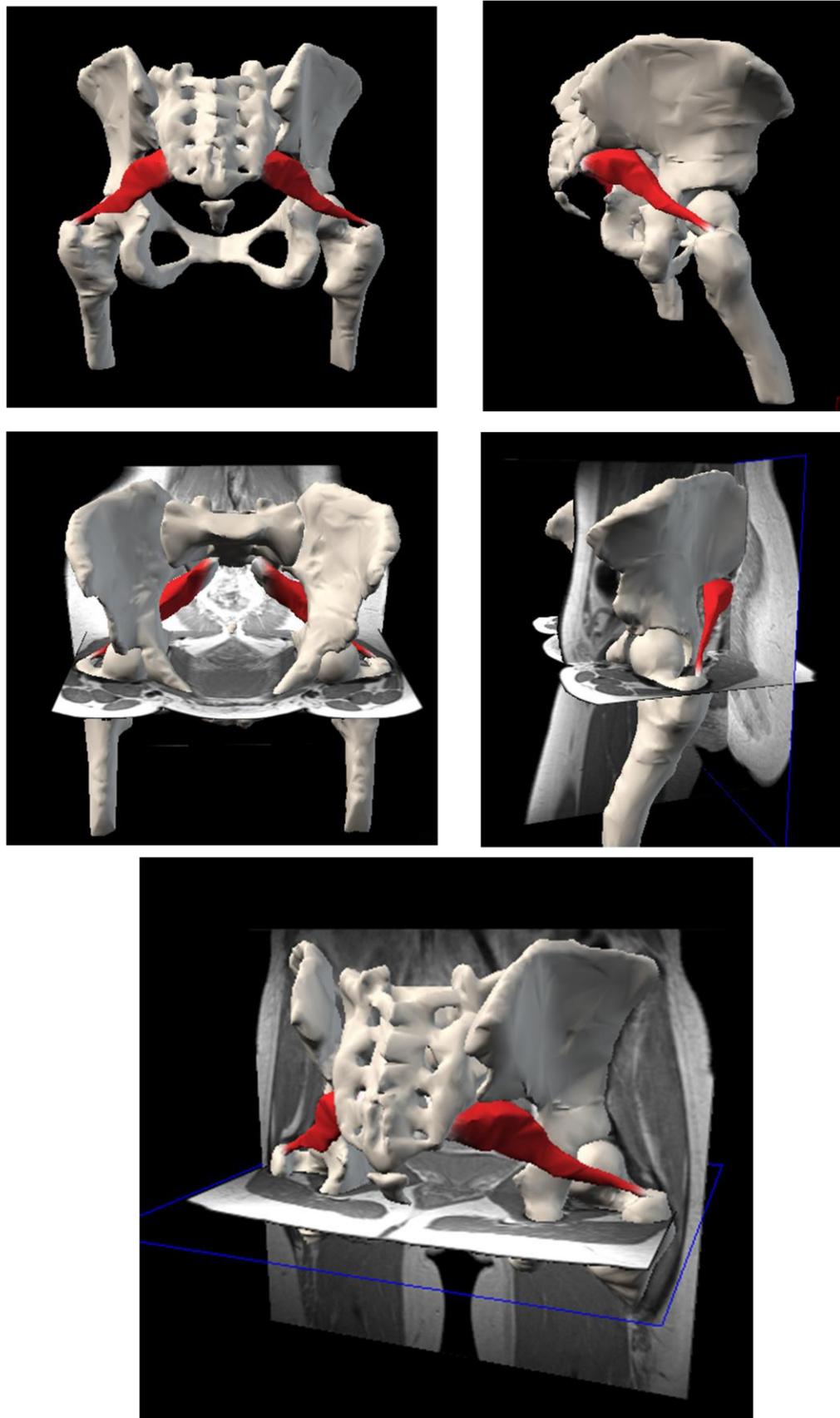


Figura 25.- Diferentes planos de visualización de la pelvis femenina en que se muestran las estructuras óseas y el *músculo piramidal*, correlacionadas con secciones seriadas de Resonancia Magnética, a partir de las cuales se han generado los modelos tridimensionales.

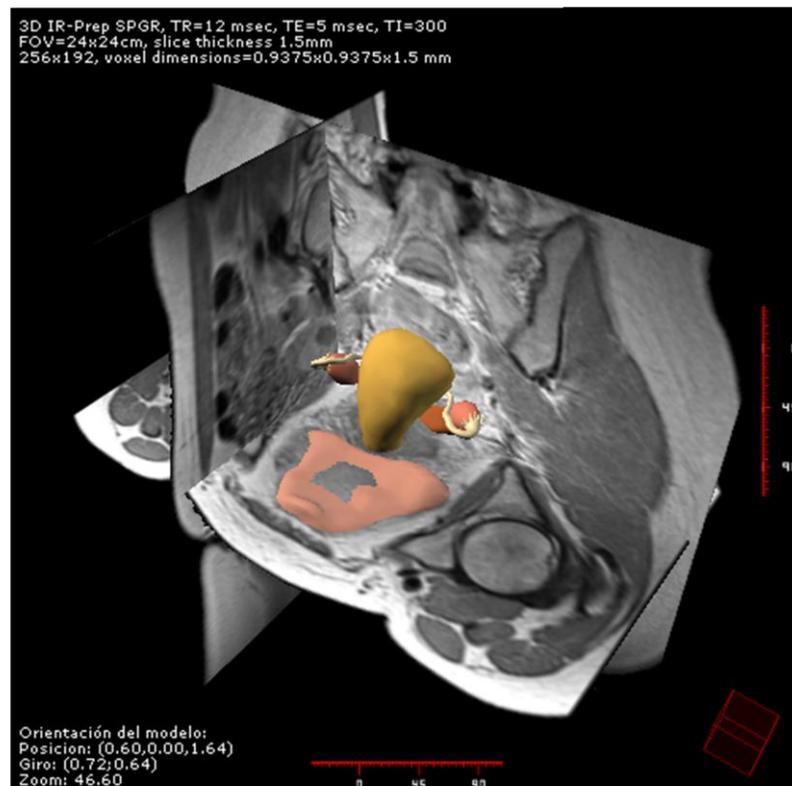
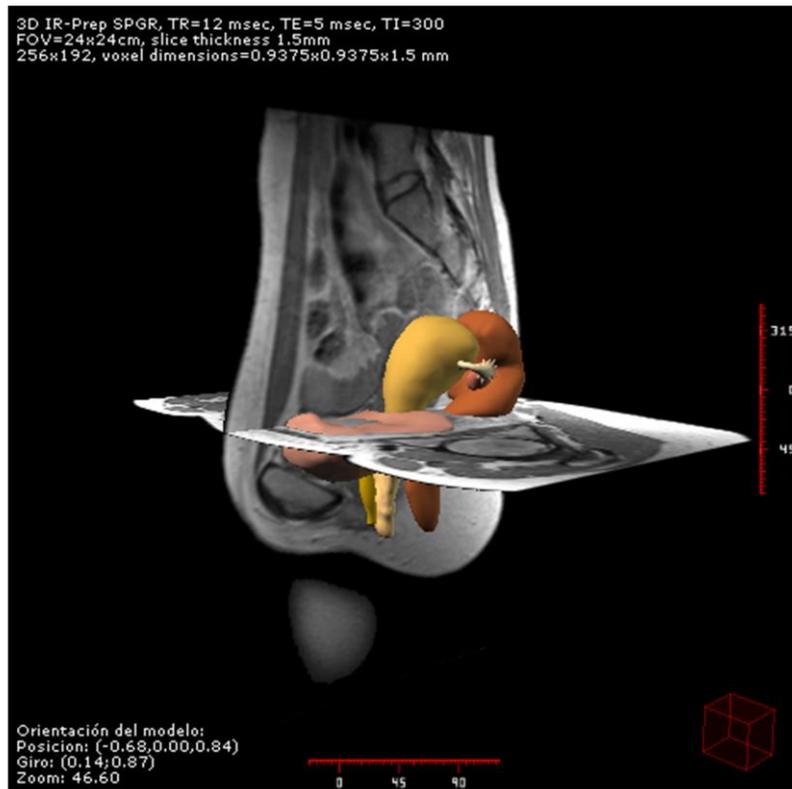


Figura 26.- Visualización tridimensional de las diferentes vísceras pélvicas reconstruidas, correlacionadas con secciones de RM en los distintos planos espaciales.

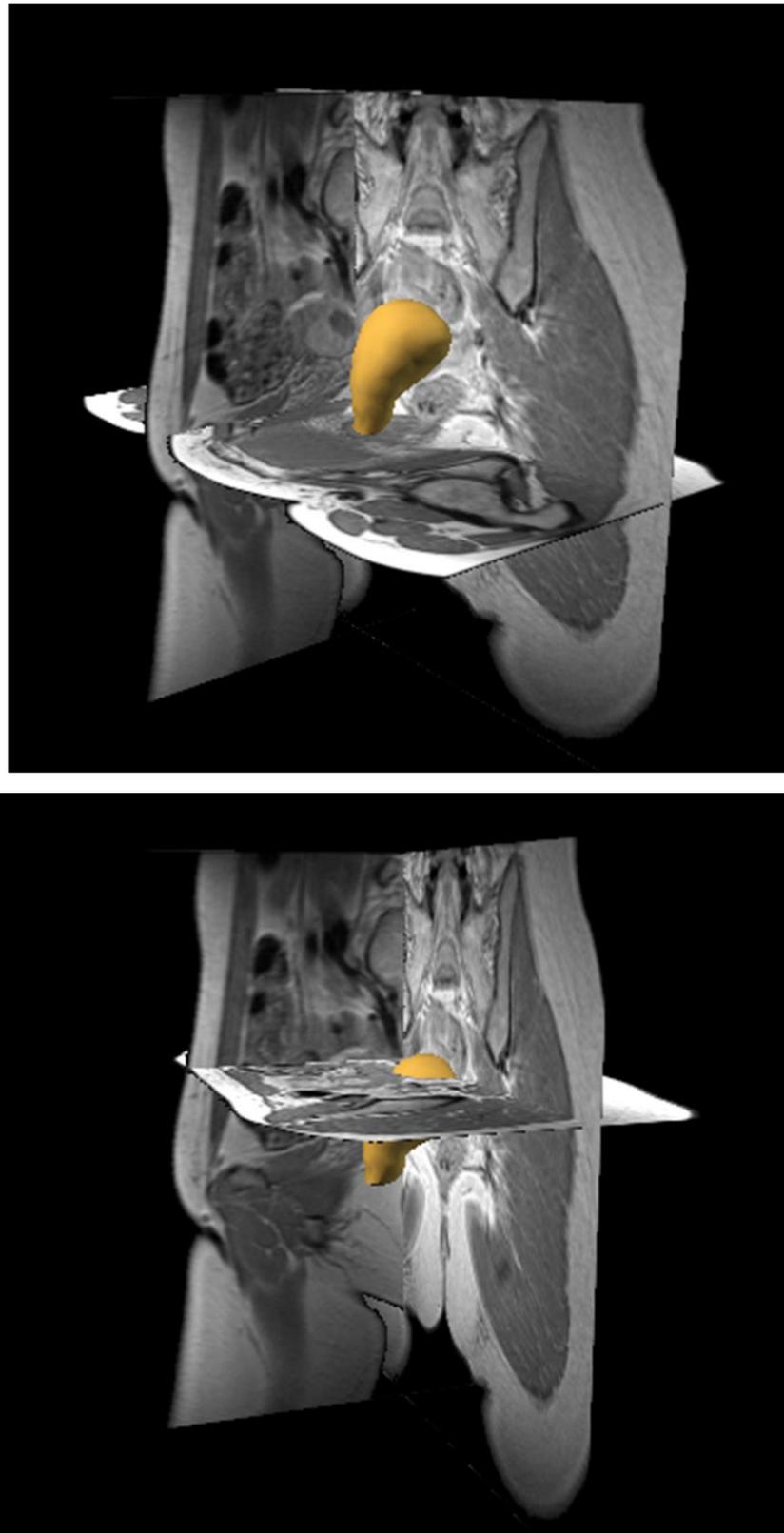


Figura 27.- Visualización tridimensional del útero, correlacionadas con los cortes de RM en los tres planos simultáneamente. Nos permite valorar su ubicación espacial en esta paciente, así como la morfología de esta viscera pelviana.

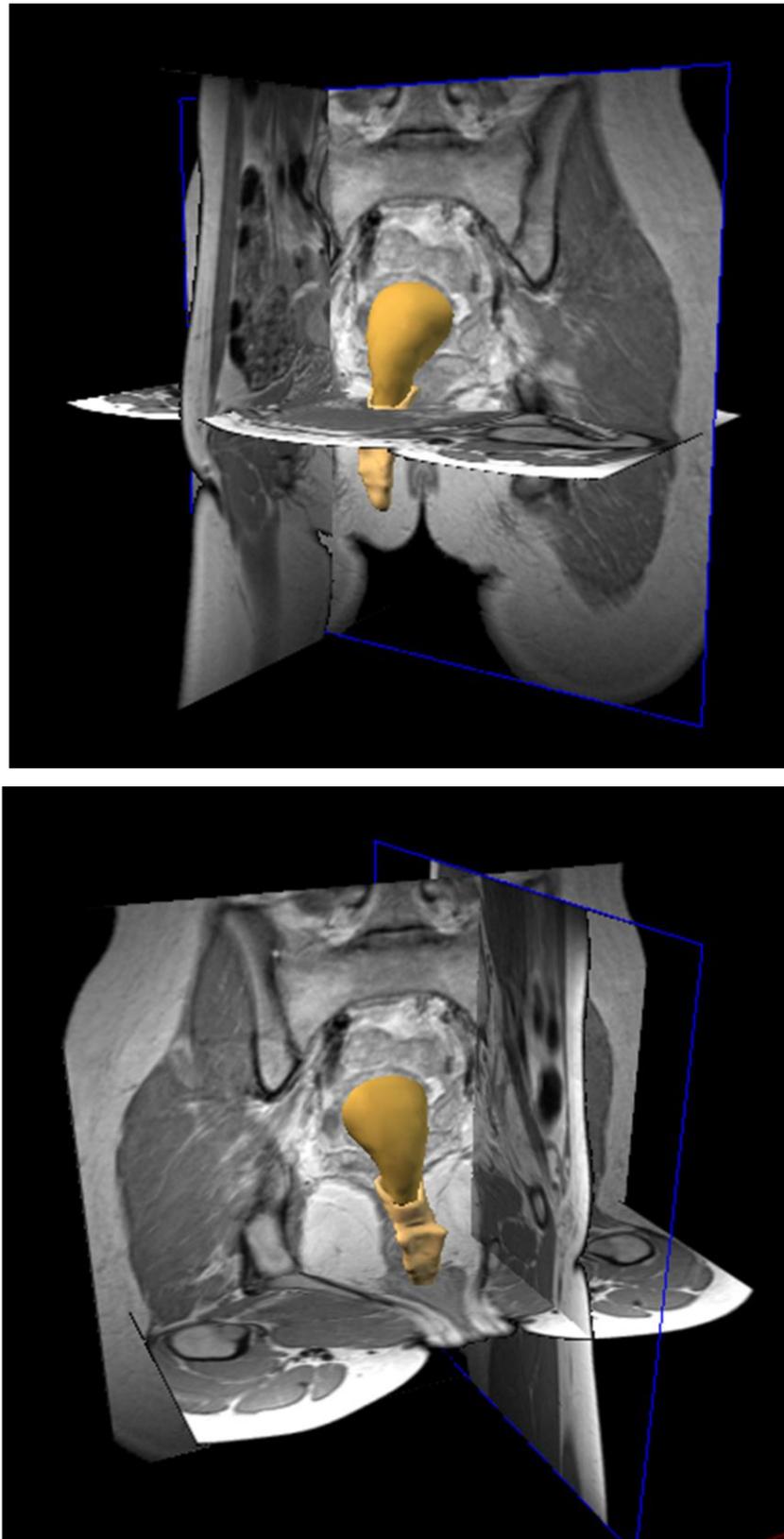


Figura 28.- Visualización tridimensional del útero y la vagina, correlacionadas con los cortes de RM en los tres planos simultáneamente. Nos permite valorar su ubicación, morfología y relaciones dentro de la pelvis femenina.

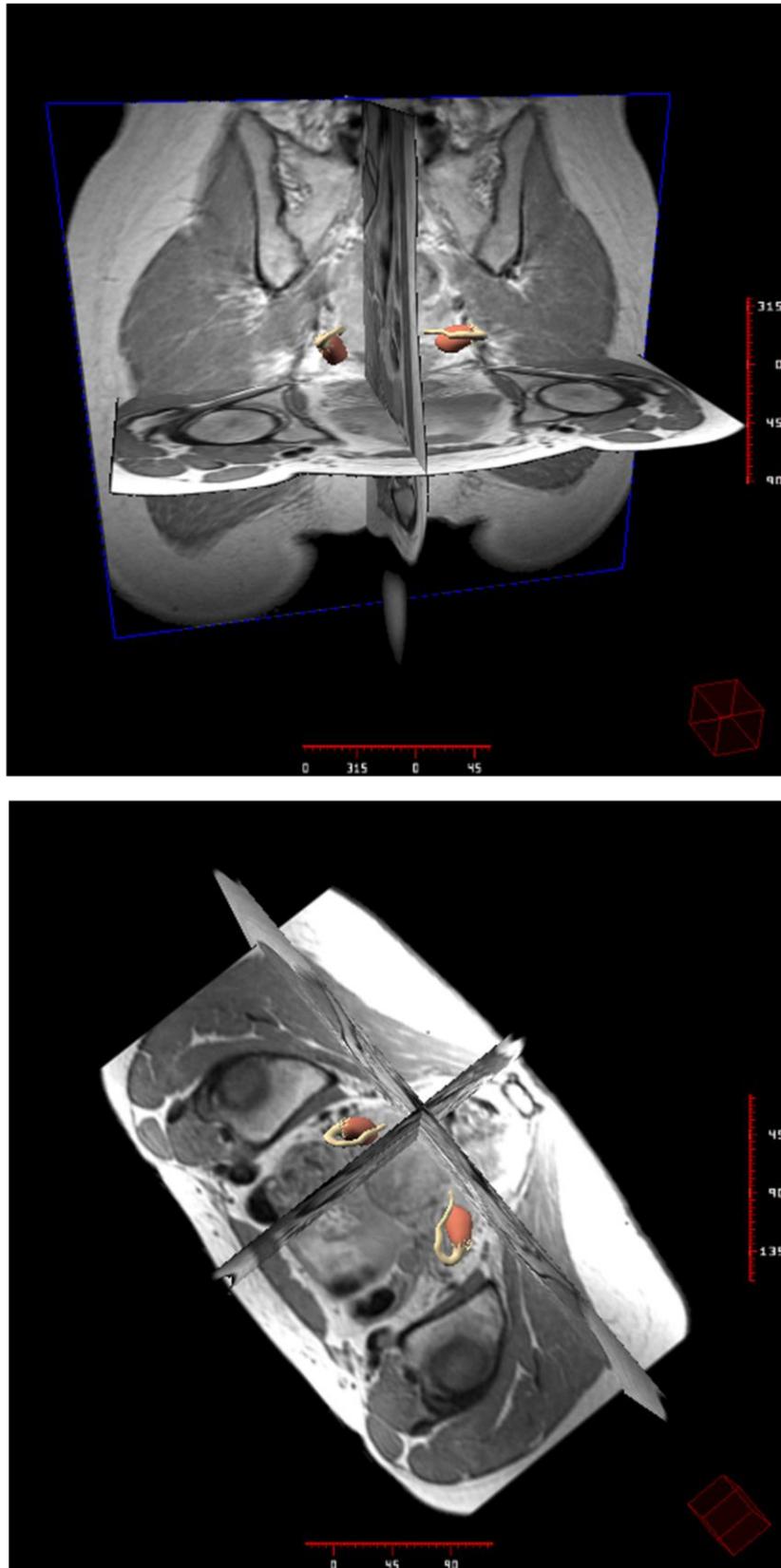


Figura 29.- Visualización tridimensional de los ovarios y las trompas uterinas, correlacionadas con los cortes de RM en los tres planos simultáneamente. Nos permite valorar su ubicación, morfología y relaciones dentro de la pelvis femenina.

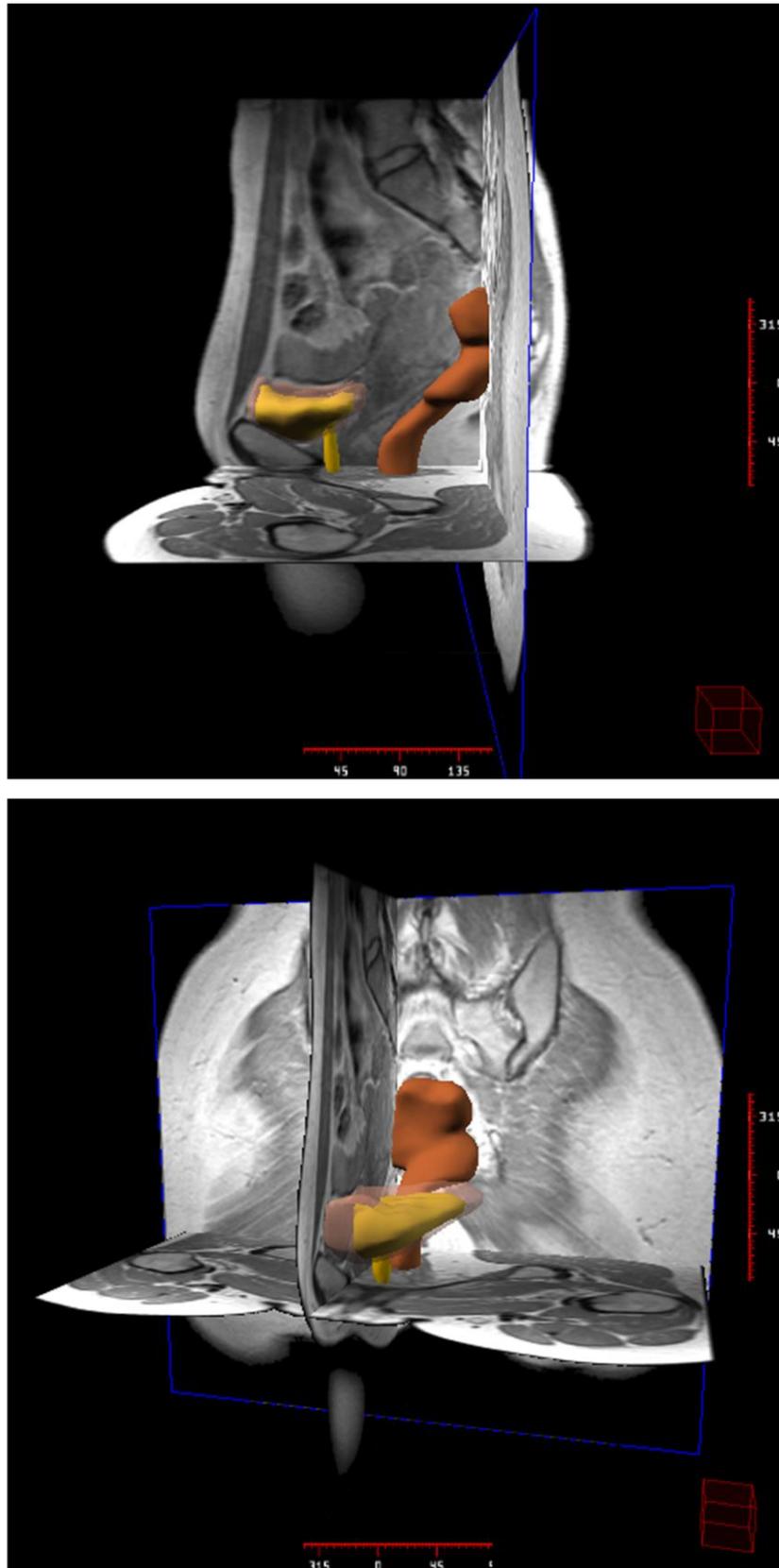


Figura 30.- Visualización tridimensional de la vejiga y el recto, correlacionados con los cortes de RM en los tres planos simultáneamente. Nos permite valorar su ubicación, morfología y relaciones dentro de la pelvis femenina.

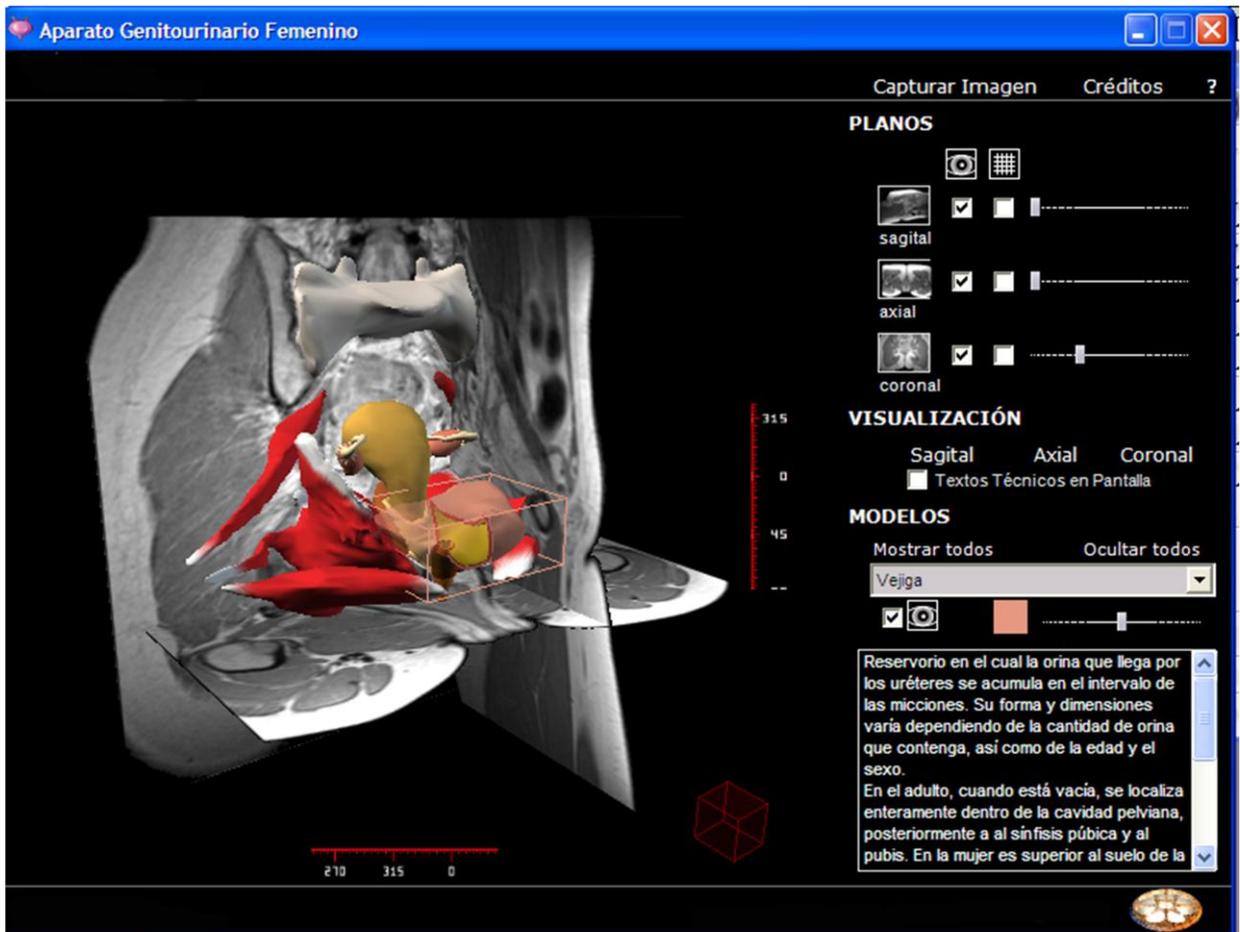


Figura 31.- Pantalla general de la *interfaz* de usuario, donde se observan las opciones que aparecen en el visor anatómico, y con las que el usuario puede interactuar en la aplicación informática.



Figura 32.- Las principales opciones que aparecen en la pantalla corresponden a *planos* y *modelos* con las que el usuario puede interactuar; si bien, puede seleccionar además la forma de visualizar la imagen según el plano espacial. En el recuadro inferior aparece una breve descripción de la estructura anatómica seleccionada.

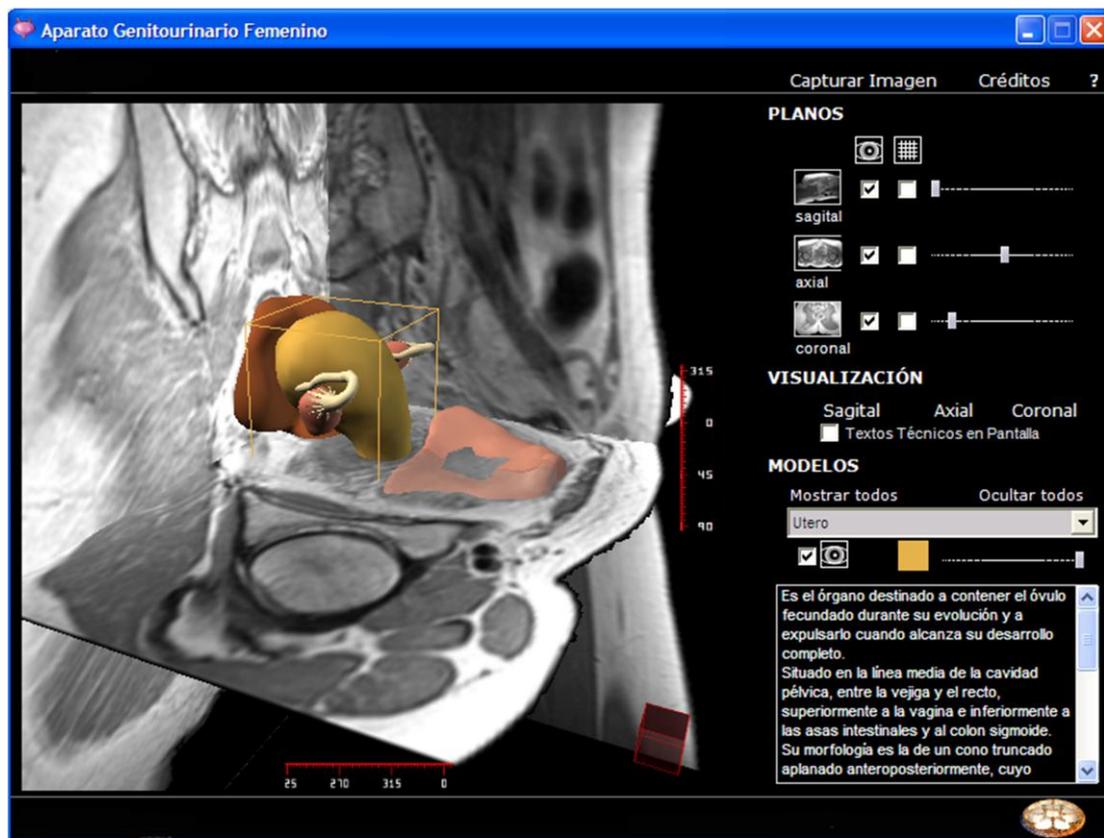
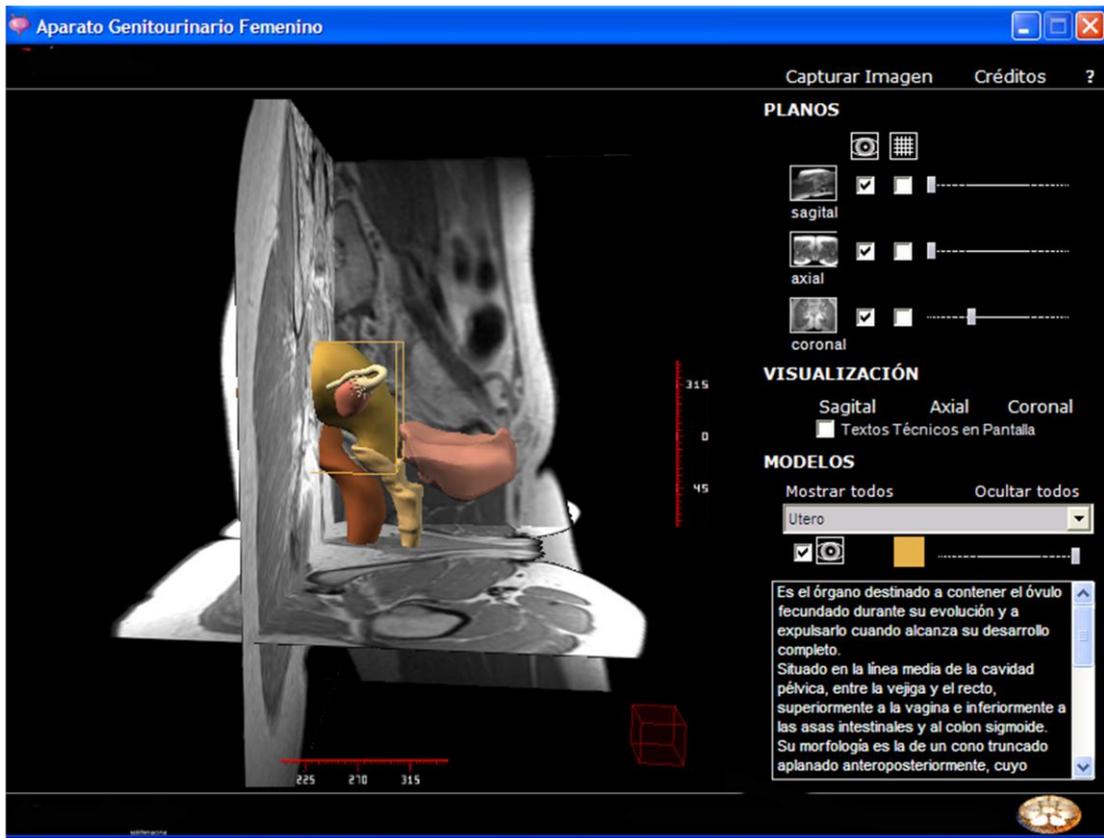


Figura 33.- Visualización del conjunto de opciones con las que el usuario puede interactuar. La mayor parte la ocupa el Visor anatómico situado en la parte izquierda, y las diferentes opciones dispuestas en la columna de la derecha, con iconos intuitivos.

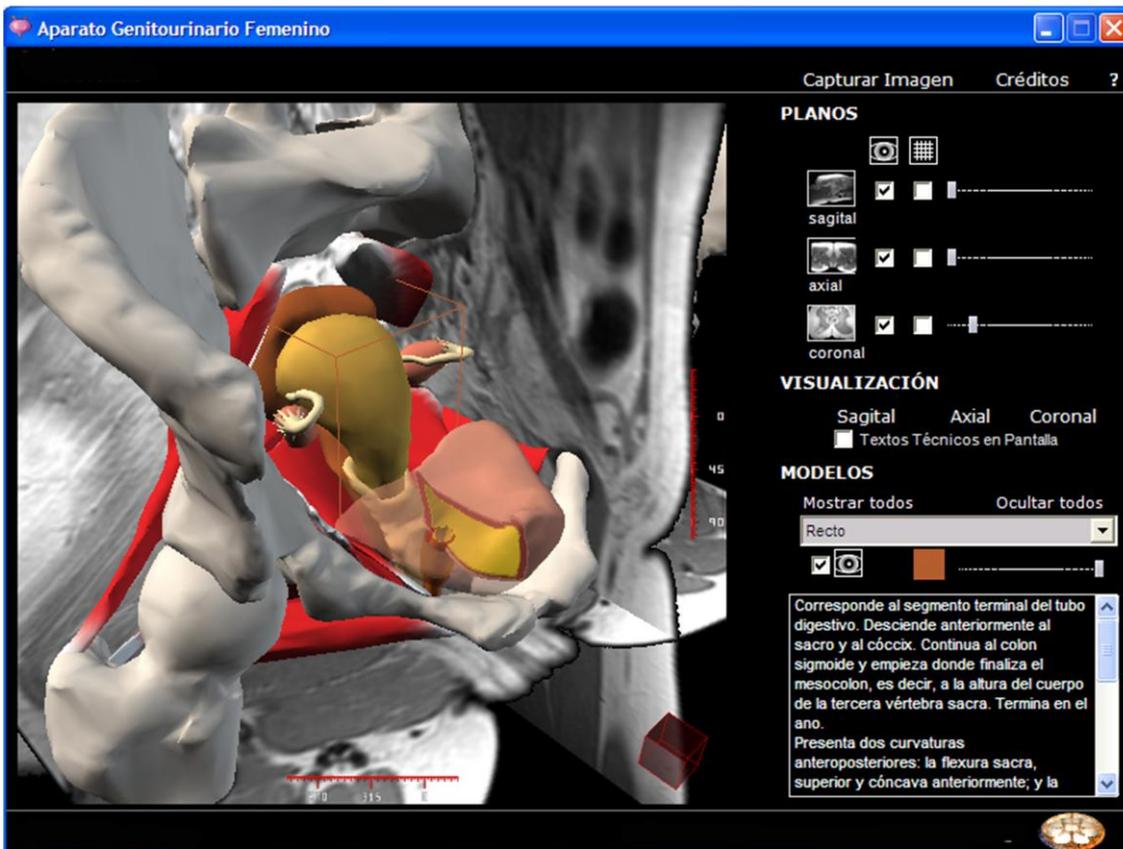
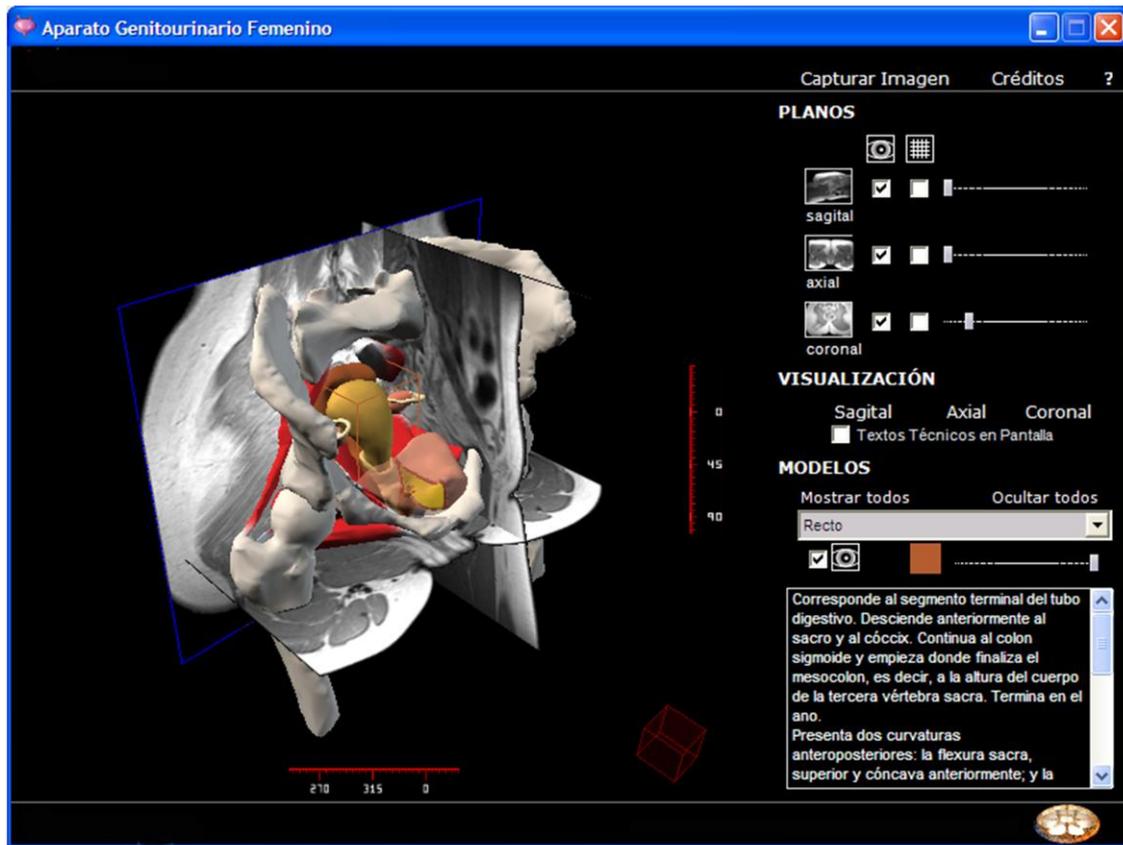


Figura 34.- Ejemplo de la acción de acercamiento o alejamiento de la imagen seleccionada, para una visualización con detalle de las estructuras anatómicas.

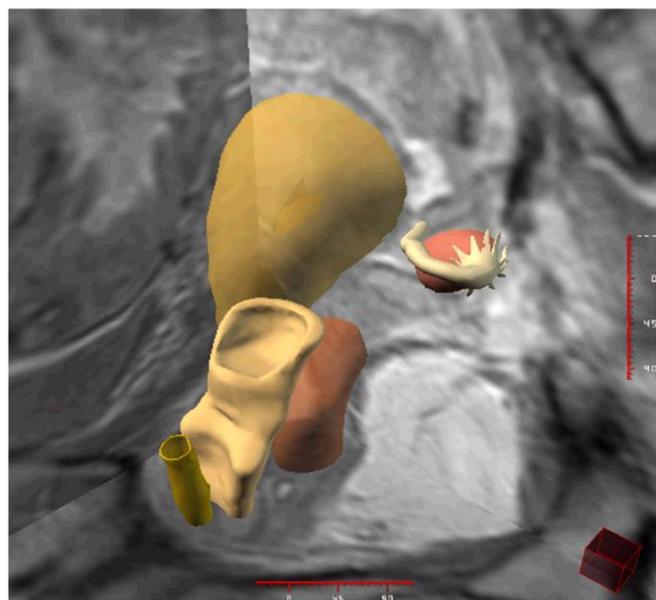
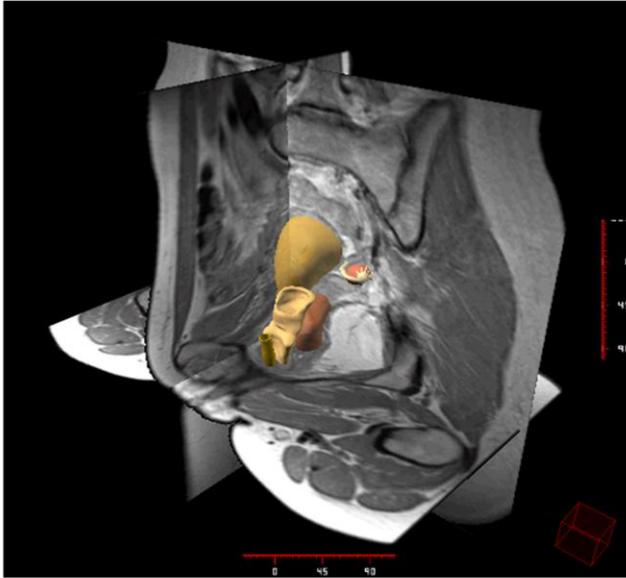


Figura 35.- Detalle, a modo de ejemplo, del efecto zoom que permite el visor para acercamiento de la imagen seleccionada. Con el zoom se permite la visualización detallada de la anatomía pélvica.

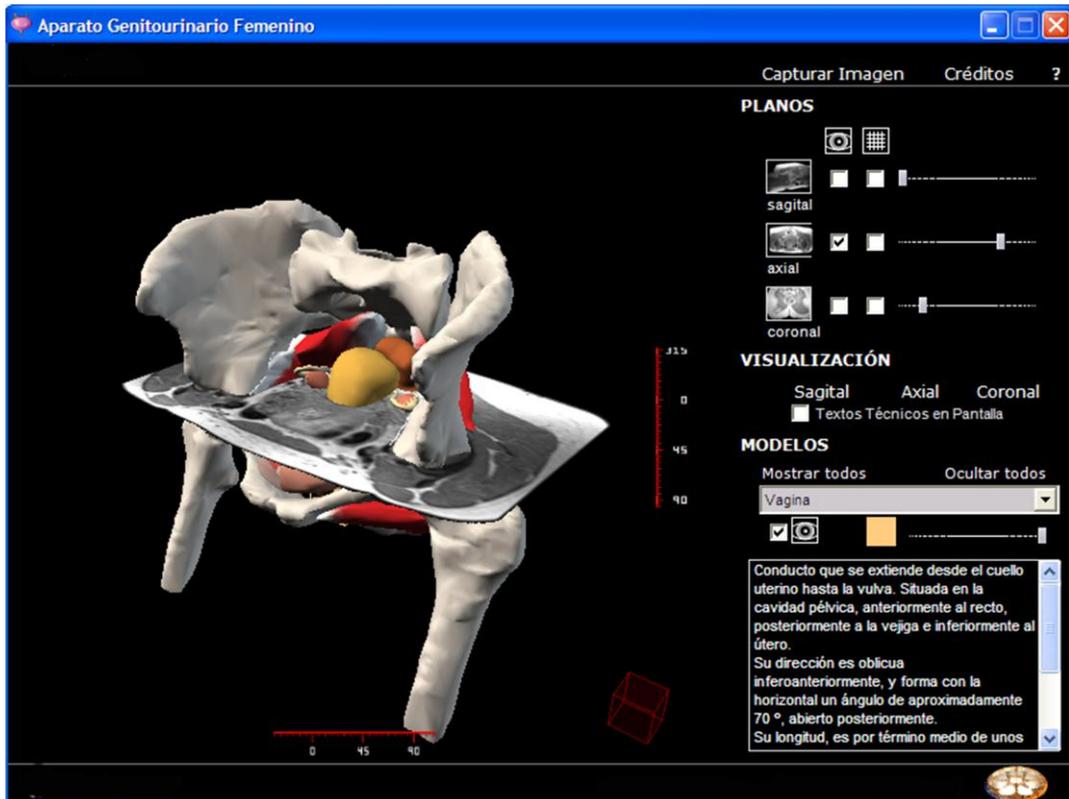
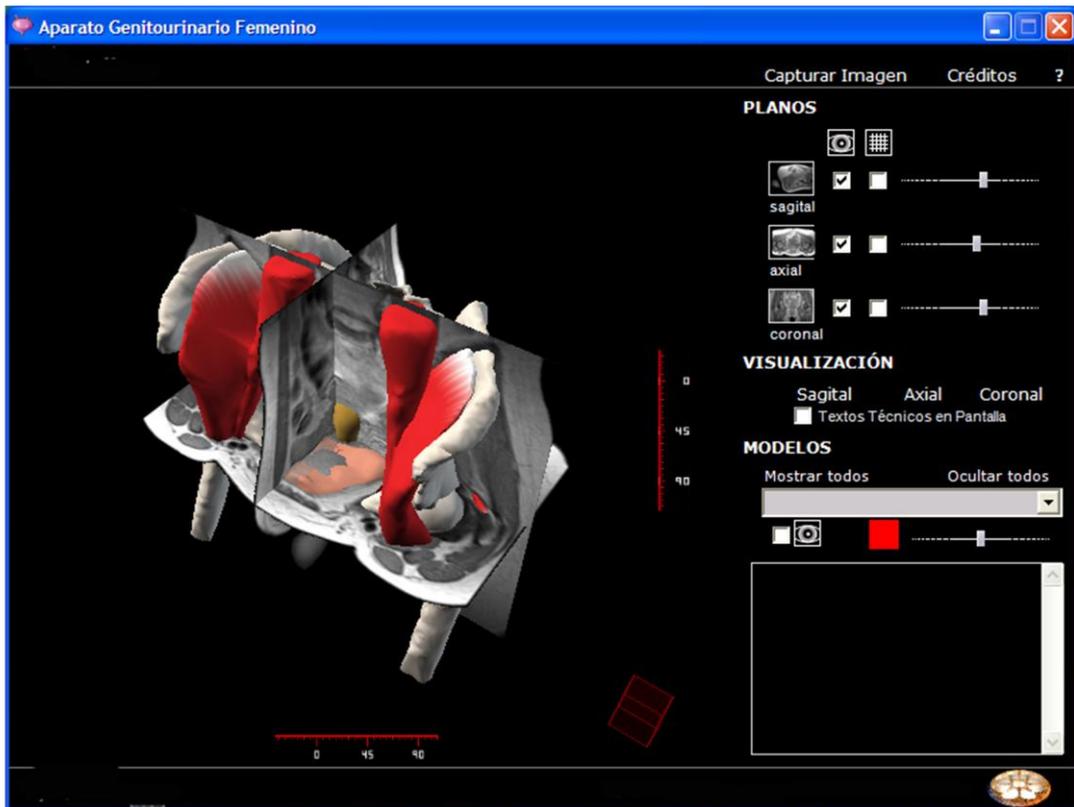


Figura 36.- Pantallas representativas de la visualización de los modelos anatómicos en el Visor, que permite ver, de una forma rápida, cómo se integran perfectamente los modelos anatómicos en los planos de corte de Resonancia Magnética.

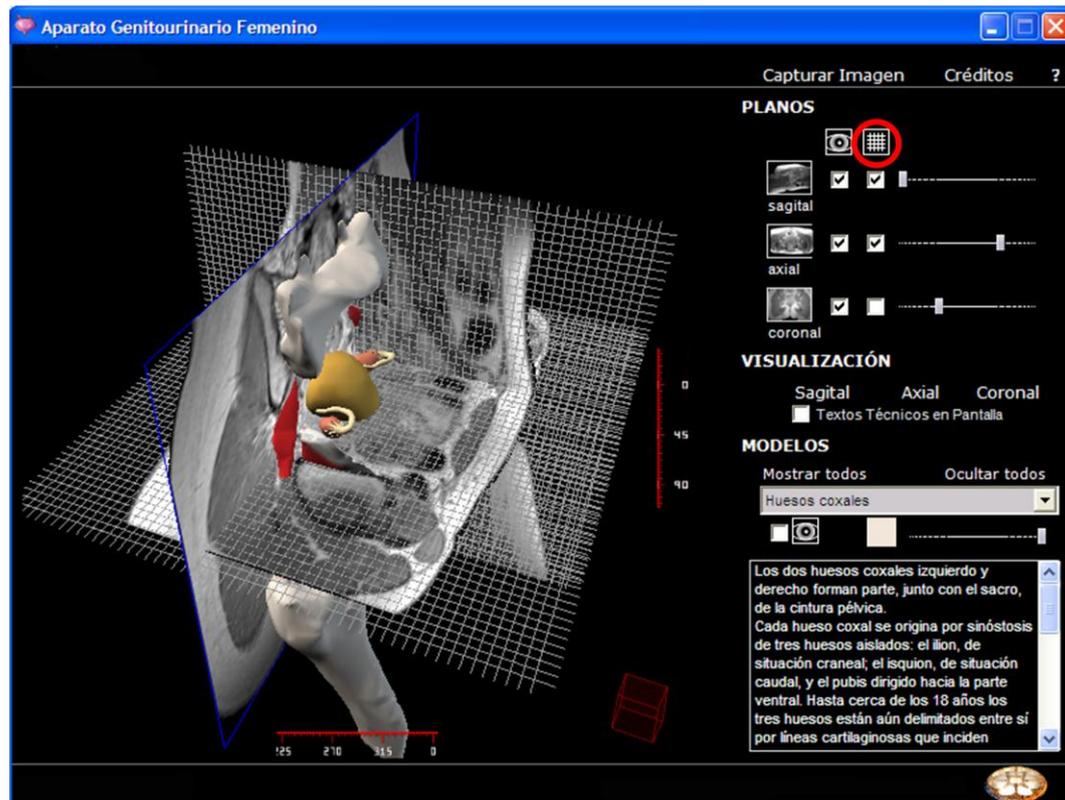
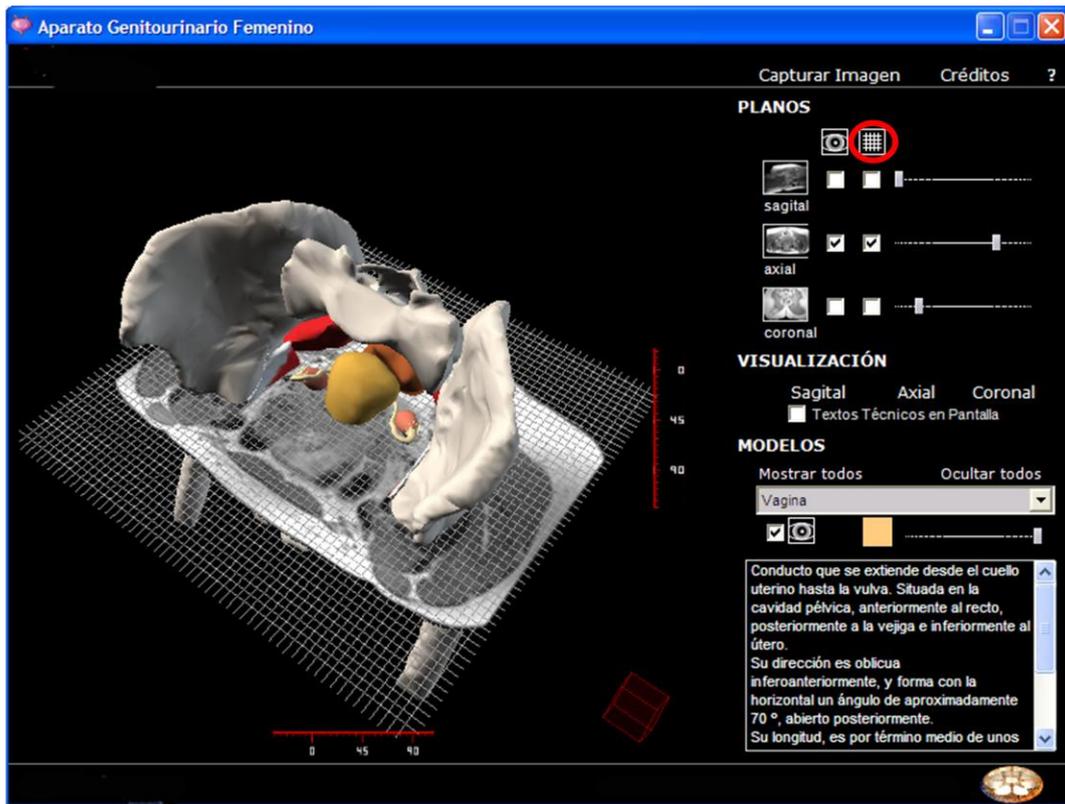


Figura 37.- En los diferentes planos de corte de cada una de las secciones de Resonancia Magnética se puede visualizar, activándola con el icono correspondiente, una rejilla de 5 mm, que permite tener una idea del tamaño de los elementos anatómicos. Es una rejilla escalada desde las secciones de RM y orientada en los tres ejes espaciales.



DISCUSIÓN

Analizaremos este capítulo haciendo un comentario sobre las siguientes consideraciones:

- 1.- Utilización de métodos tecnológicos informatizados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- 2.- Desarrollo de interfaces de usuario en los programas docentes informatizados
- 3.- Aportación de las técnicas de imagen 3D en el conocimiento de estructuras anatómicas y en la práctica clínica.

1.- Consideraciones sobre la utilización de métodos tecnológicos informatizados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La enseñanza es una actividad intencional, diseñada para dar lugar al aprendizaje de los alumnos. Pero ligar los conceptos de enseñar y aprender es una manera de manifestar que la situación que nos interesa es algo más que la relación de acciones instructivas por parte del profesor y la relación de efectos de aprendizaje en los alumnos.

La mejora del aprendizaje resulta ser uno de los anhelos más importante de todos los docentes.

Los procesos de enseñanza-aprendizaje ocurren en un contexto institucional, transmitiéndole así unas características que trascienden a la significación interna de los procesos, al conferirle un sentido social (Beccaría y Rey, 1999).

Los procesos de enseñanza-aprendizaje pueden interpretarse bajo las claves de los sistemas de comunicación humana, teniendo en cuenta las peculiaridades específicas de aquéllos, una de las cuales es su carácter de comunicación intencional. La intencionalidad nos remite tanto a su funcionalidad social como a su pretensión de hacer posible el aprendizaje (Contreras, 1990).

El sentido interno de los procesos de enseñanza-aprendizaje está en hacer posible el aprendizaje.

El docente debe prever, seleccionar y organizar los recursos didáctico-pedagógicos que integrarán cada situación de aprendizaje, con la finalidad de crear las mejores condiciones para lograr los objetivos previstos (Rodríguez Lamas, 2002).

La informática como recurso didáctico-pedagógico va adquiriendo un papel más relevante a medida que la moderna tecnología se va incorporando a la tarea educativa (Rivera Porto, 1993).

En los últimos años, los avances de las tecnologías informáticas y de las últimas técnicas de comunicación, se han incorporado al terreno formativo en las ciencias de la salud con el objetivo de elevar la eficiencia del proceso docente y en la búsqueda por aportar a la enseñanza una base más científica y técnica que haga más productiva la docencia en esta área de conocimiento.

El proceso de la introducción de estas tecnologías en la enseñanza de la medicina y otras disciplinas de las ciencias de la salud, ha sido progresivo, en función de las características y requerimientos de los distintos procesos educativos de cada centro universitario.

Parte de esta tecnología, no solo ha sido de hardware, sino también han entrado a formar parte de los sistemas docentes de los profesores universitarios, diversos desarrollos informáticos catalogados ya en sus guías académicas como software educativo, los cuales han sido creados para ser

utilizados en la docencia tanto presencial como a distancia a través de redes colaborativas.

Los programas informáticos, como recursos didácticos en la formación médica, constituyen una herramienta muy útil en todas las materias de las ciencias de la salud (Shortliffe y Perreault, 1990; Roger y Santucci, 1987).

Es evidente que cada vez existe una mayor disponibilidad de equipos informáticos, de altas prestaciones tecnológicas, que hace posible satisfacer las necesidades óptimas de ejecución de muchos programas informáticos docentes con características hipermedia que requieran de una alta capacidad de memoria de los ordenadores donde se van a ejecutar (Salinas, 1994).

La Informática Educativa utiliza el ordenador como enseñanza o como medio de programación (Rivera Porto, 1993). Existen diferentes enfoques, siendo la resolución de problemas la que se podría considerar como la forma más amplia de aprendizaje, en la que se espera, como norma, que los alumnos desarrollen estas técnicas mediante un proceso poco definido de ejemplificación y ejecución.

En este caso, el aprendizaje está individualizado y el alumno crea un propio programa, lo cual le ayuda al desarrollo de técnicas generales de resolución de problemas y el estudiante empieza a concebir sus errores como una fuente de aclaración y no como motivo de desesperación, la tendencia de este enfoque es el cognoscitivo de la enseñanza y el aprendizaje, donde se conciben a los ordenadores, como dispositivos para elaborar un sistema de enseñanza que trate al alumno como un ser que piensa y participa en su proceso de aprendizaje.

Los programas informáticos docentes basados en sistemas tutoriales se encargan de presentar la información y guiar al estudiante en su aprendizaje inicial (Alvarez, 1984). Es apropiado para presentar la información,

aprender reglas y principios, así como estrategias de solución de problemas prácticos.

Por otra parte, los desarrollos informáticos basados en la simulación, constituyen un poderoso método tecnológico que enseña al usuario sobre algún aspecto concreto que se encontrará en su actividad profesional, imitándolo o replicándolo. Los estudiantes no solo se motivan por la simulación, sino que también aprenden interactuando con ella, de manera similar a como pudieran hacerlo en situaciones reales.

En casi todos los casos, la simulación, en el terreno de las ciencias de la salud también hay simplificación de la realidad al omitir o cambiar detalles. El propósito es ayudar, al estudiante de medicina u cualquier otra área de la salud o incluso residentes hospitalarios, a construir un modelo mental útil, darle una oportunidad de probarlos, sin riesgos y eficientemente y, que aprenda realizando actividades en un contexto similar al que se encontrará en la vida real.

En este sentido, existen en el mundo muchos grupos de trabajo relacionados con la información médica en forma de imágenes clínicas. A modo de ejemplo podemos destacar grupos que han llevado a cabo desarrollos informáticos mediante un navegador en Java, que visualiza imágenes tridimensionales del cuerpo humano. Otros grupos han desarrollado una aplicación de visualización tridimensional destinada a ser utilizada por neurorradiólogos y neurocirujanos en simulaciones. Otros proyectos, más teóricos, consideran diversos aspectos del análisis y tratamiento de imágenes médicas, elaborando representaciones multiescala con diverso nivel de detalle. También, surgen grupos que trabajan en herramientas de trabajo colaborativo basadas en Internet para radiología. Algunos proyectos de trabajo están elaborando un modelo de acceso a bases de datos médicas a través de Internet, estableciendo dinámicamente un repositorio virtual de información que pueda ser útil tanto a profesionales de las ciencias médicas como para estudiantes e incluso los propios

pacientes (Anderson y Jay, 1987; Gervás, 1987; Bakker y col., 1988; Enriquez y Martínez, 1991).

Técnicas avanzadas de Inteligencia Artificial (Fiesch, 1987) se han empleado en otros trabajos que extraen las denominadas reglas de predicción clínica, procesando bases de datos epidemiológicas, y en aplicaciones que organizan la información tratando los términos utilizados y poniéndolos en relación con vocabularios médicos normalizados, construyendo un servidor de vocabulario.

En todos estos procedimientos tecnológicos, como ocurre con otros productos de la actual tecnología formativa en ciencias de la salud, no se puede afirmar que el software docente por sí mismo sea bueno o malo, todo dependerá del uso que de él se haga, de la manera cómo se utilice en cada situación concreta. En última instancia su funcionalidad y las ventajas e inconvenientes que pueda comportar su uso serán el resultado de las características del material, de su adecuación al contexto formativo al que se aplica y de la manera en que el profesor organice su utilización didáctica.

La mayoría de los programas docentes informatizados, a través de sus actividades, presentan unos contenidos que proporcionan una información a los estudiantes. Como todos los medios didácticos, estos materiales representan la realidad y la ordenan. Los programas tutoriales, los simuladores y, especialmente, las bases de datos, son los programas que realizan más marcadamente una función informativa. Todos los programas educativos orientan y regulan el aprendizaje de los estudiantes ya que, explícita o implícitamente, promueven determinadas actuaciones de los mismos encaminadas a facilitar el logro de unos objetivos educativos específicos.

Si bien el ordenador actúa, en general, como mediador en la construcción del conocimiento de los estudiantes, son los programas

tutoriales los que realizan de manera más explícita esta función instructiva, ya que dirigen las actividades de los estudiantes.

La revolución de la informática médica, iniciada hace muchos años e intensificada, en la última década, ha abierto una revolución en la formación médica.

Entre las aplicaciones más destacadas que ofrecen la utilización de las tecnologías informáticas al terreno formativo se encuentran los recursos de características hipermedia (Salinas, 1994) los cuales se insertan rápidamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los usuarios que los manejan. Esto es así, porque refleja fielmente la manera en que el alumno o usuario, piensa, aprende y recuerda, con los programas informáticos al explorar fácilmente textos, imágenes, sonidos, animaciones y videos, para estudiar, analizar, reflexionar e interpretar en profundidad la información utilizada (Marqués, 1999).

En consecuencia, la tecnología multimedia e hipermedia, se convierte en una poderosa y versátil herramienta que transforma a los usuarios (alumnos, residentes, jóvenes especialistas, etc.) de receptores pasivos de la información en participantes activos, en un enriquecedor proceso de aprendizaje en el que desempeña un papel primordial la facilidad de relacionar sucesivamente distintos tipos de información, personalizando la formación, al permitir a cada usuario avanzar según su propia capacidad.

Pero queremos reflejar que, la mera aplicación de estas tecnologías en la formación médica, no asegura la obtención de mejores alumnos, si entre otros requisitos dichos procesos no van guiados y acompañados por la labor y la participación activa del docente que es quién coordina y dirige toda la acción didáctica (Avolio, 1981). El docente debe seleccionar cuidadosamente todo el material y el contenido docente que deben incluirse en los programas informáticos para que el usuario los estudie y aprenda con ellos.

Por eso, es necesario que los desarrollos informáticos de características docentes establezcan una metodología de estudio y de aprendizaje para que el alumno no convierta la información incluida en un programa informático, en un simple libro animado, en el que el usuario consuma grandes cantidades de información que no aporten demasiado a su formación médica personal.

De ahí que, sobre todo el docente, tendrá la precaución no sólo de examinar cuidadosamente los contenidos de cada material a utilizar para detectar posibles errores, omisiones, ideas o conceptos equívocos, sino que también deberá fomentar entre los alumnos una actitud de juicio crítico frente a lo que estudia con el empleo de material didáctico tecnológico (Jiménez y col., 1989).

Cada día surge gran variedad de software educativo en el terreno médico, lo que permite generar una amplia base documental de desarrollos informáticos que facilitan y mejoran el aprendizaje. De esta forma, además, los alumnos podrán ir adquiriendo las habilidades y destrezas que seguramente manejarán en su actividad profesional.

Las expresiones *software educativo*, *programas educativos* y *programas didácticos o docentes*, se emplean como sinónimos para designar genéricamente los programas para ordenador creados con la finalidad específica de ser utilizados como medio didáctico, es decir, para facilitar los procesos de enseñanza y de aprendizaje (de Pablos y Gortari, 1992). Esta definición engloba todos los programas que han estado elaborados con un fin didáctico, desde los tradicionales programas basados en los modelos conductistas de la enseñanza, conocidos clásicamente como programas de Enseñanza Asistida por Ordenador (EAO), hasta los programas experimentales de Enseñanza Inteligente Asistida por Ordenador (EIAO) que, utilizando técnicas propias del campo de los Sistemas Expertos y de la Inteligencia Artificial en general, pretenden imitar la labor tutorial personalizada que realizan los profesores y presentan modelos de

representación del conocimiento en consonancia con los procesos cognitivos que desarrollan los alumnos (Cuenca, 1986).

Lo que parece evidente, es que los modernos programas informáticos docentes que surgen en el campo de la medicina, favorecen la flexibilidad del pensamiento de los usuarios que los emplean, ya que estimulan la búsqueda de distintas soluciones para una misma actividad planteada, permitiendo un mayor despliegue de los recursos cognitivos de los alumnos.

La utilización del ordenador en las aulas implica un mayor grado de abstracción de las acciones, una toma de conciencia y anticipación de lo que muchas veces hacemos "automáticamente"; de esta forma conseguiremos estimular en nuestros alumnos las conductas operatorias (actúa y toma decisiones) en lugar de las conductas sensorio-motoras (sólo escucha y escribe).

Por otro lado, desde el punto de vista afectivo y social, el manejo de programas informáticos docentes permite el trabajo en equipo, apareciendo así la cooperación entre sus usuarios y la posibilidad de intercambiar puntos de vista entre los alumnos, lo cual favorece también, sin lugar a dudas, sus procesos de enseñanza-aprendizaje. De esta forma, el alumno es un sujeto activo y participante de su propio aprendizaje que puede desarrollar usos y aplicaciones de lo que estudia a través de la inserción de las nuevas tecnologías.

El ordenador, a través de los programas formativos, constituye además, para el docente, un instrumento capaz de revelar, paso a paso, el avance intelectual de los alumnos (Bartolomé, 1989).

Pero para favorecer este proceso de enseñanza-aprendizaje de los alumnos de una titulación, el docente deberá ser, ante todo, una persona capaz de acompañar a sus alumnos en este crecimiento de aprendizaje que van realizando.

Deberá ser capaz de plantear conflictos cognitivos y dudas que surjan en los alumnos, apoyándolos en la construcción de sus estructuras de conocimientos. También deberá colaborar con ellos para que integren el error como parte del proceso de aprendizaje que están llevando a cabo, impulsándolos a reflexionar sobre la lógica de sus equivocaciones.

Los docentes, hoy se encuentran ante un volumen creciente de materiales curriculares y elementos auxiliares de enseñanza: libros de texto, ordenadores, software educativo, medios audiovisuales. Sin embargo, disponen de pocas referencias de utilidad general que pudieran ayudarlos a hacer sus selecciones; algunas de ellas, significan decisiones sobre lo que se va a enseñar; otras encierran selecciones de medios en los cuales el contenido, ya elegido, ha de ser presentado. Para muchos profesores, muchas de estas ideas modernas, son difíciles de entender, de aceptar y de armonizar con los antiguos conceptos de educación adquiridos por los docentes. Un particular criterio a desarrollar en los docentes, ha de ser el de elegir adecuadamente los diferentes software educativos a emplear en la formación de sus alumnos, considerando el nivel de éstos, la didáctica de enseñanza y los requerimientos técnicos para su correcta utilización como apoyo a la docencia.

La evolución experimentada durante los últimos años, en la implementación de proyectos de informática educativa, promueve el desarrollo de diversas acciones entre las cuales es necesario destacar la disponibilidad de equipamiento informático adecuado, la utilización del software más conveniente, el debido mantenimiento y asistencia técnica de ambos y por último, pero no menos importante, la vigencia de un proyecto institucional promovido por las autoridades universitarias del centro y de la institución general, así como la formación y capacitación de los propios docentes.

Por eso, debemos tener en cuenta que, la mera incorporación de las nuevas tecnologías informáticas a las diversas actividades que se

desarrollan habitualmente en la formación académica universitaria de nuestros alumnos, no logra satisfacer las expectativas creadas, si no se tiene en consideración la indispensable necesidad de capacitar simultáneamente los recursos humanos disponibles, a través de un permanente plan de formación y capacitación que incluya el desarrollo de cursos y encuentros que contemple no sólo los aspectos informáticos sino también los didácticos (Castillejo 1986; Ortega y Martínez, 1994).

2.- Consideraciones sobre las interfaces de usuario en los programas docentes informatizados.

La mayoría de los programas didácticos, igual que muchos de los programas informáticos nacidos sin finalidad educativa, tienen tres módulos principales claramente definidos: el módulo que gestiona la comunicación con el usuario, el que contiene debidamente organizados los contenidos informativos del programa y el módulo que gestiona las actuaciones del ordenador y sus respuestas a las acciones de los usuarios.

La interfaz es el entorno a través del cual los programas establecen el diálogo con sus usuarios y es el que posibilita la interactividad característica de estos materiales. Está integrada por dos sistemas:

a.- El sistema de comunicación programa-usuario, que facilita la transmisión de informaciones al usuario por parte del ordenador. Incluye las pantallas a través de las cuales los programas presentan información a los usuarios.

b.- El sistema de comunicación usuario-programa, que facilita la transmisión de información del usuario hacia el ordenador. Incluye: el uso del teclado y el ratón, mediante los cuales los usuarios introducen al ordenador un conjunto de órdenes o respuestas que los programas reconocen. El empleo de otros periféricos: micrófonos, lectores de fichas,

teclados conceptuales, pantallas táctiles, lápices ópticos, modems, lectores de tarjetas, convertidores analógico-digitales.

Con la ayuda de las técnicas de la Inteligencia Artificial y del desarrollo de las tecnologías multimedia, se investiga la elaboración de entornos de comunicación cada vez más intuitivos y capaces de proporcionar un diálogo abierto y próximo al lenguaje natural (Shirai y Tsujii, 1987).

Los programas educativos, a pesar de tener unos rasgos esenciales básicos y una estructura general común, se presentan con unas características muy diversas: unos aparentan ser un laboratorio o una biblioteca, otros se limitan a ofrecer una función instrumental del tipo máquina de escribir o calculadora, otros se presentan como un juego o como un libro, muchos tienen aspecto de examen, unos pocos asemejan ser sistemas expertos, etc. Pero la mayoría de ellos participan, en mayor o menor medida, de algunas de estas peculiaridades citadas anteriormente.

Los programas docentes pueden catalogarse en distintas categorías, así podemos hablar de programas tutoriales directivos, programas no directivos, programas abiertos o cerrados, etc..

Programas tutoriales directivos, que hacen preguntas a los estudiantes y controlan en todo momento su actividad. El ordenador adopta el papel de juez poseedor de la verdad y examina al alumno. Se producen errores cuando la respuesta del alumno está en desacuerdo con la que el ordenador tiene como correcta. En los programas más tradicionales el error lleva implícita la noción de fracaso.

Programas no directivos, en los que el ordenador adopta el papel de un laboratorio o instrumento a disposición de la iniciativa de un alumno que pregunta y tiene una libertad de acción sólo limitada por las normas del programa. El ordenador no juzga las acciones del alumno, se limita a procesar los datos que éste introduce y a mostrar las consecuencias de sus acciones sobre un entorno. Objetivamente no se producen errores, sólo

desacuerdos entre los efectos esperados por el alumno y los efectos reales de sus acciones sobre el entorno. No está implícita la noción de fracaso. El error es sencillamente una hipótesis de trabajo que no se ha verificado y que se debe sustituir por otra. En general, siguen un modelo pedagógico de inspiración cognitivista, potencian el aprendizaje a través de la exploración, favorecen la reflexión y el pensamiento crítico y propician la utilización del método científico.

Otra clasificación interesante de los programas atiende a la posibilidad de modificar los contenidos del programa y distingue entre *programas cerrados* (que no pueden modificarse) y *programas abiertos*, que proporcionan un esqueleto, una estructura, sobre la cual los alumnos y los profesores pueden añadir el contenido que les interese. De esta manera se facilita su adecuación a los diversos contextos educativos y permite un mejor tratamiento de la diversidad de los estudiantes.

No obstante, de todas las clasificaciones la que posiblemente proporciona categorías más claras y útiles a los profesores es la que tiene en cuenta el grado de control del programa sobre la actividad de los alumnos y la estructura de su algoritmo.

La idea fundamental en el concepto de interfaz es el de mediación, entre usuario y ordenador. Por tanto, la interfaz es lo que "media", o facilita la comunicación o interacción, entre dos sistemas de diferente naturaleza: el ser humano y el ordenador (Shneiderman, 1998).

De una manera más técnica, la interfaz de usuario lo constituye un conjunto de componentes empleados por los usuarios para comunicarse con el programa que se está ejecutando en el ordenador. Es el usuario el que realmente dirige el funcionamiento del programa informático mediante diversas instrucciones de usabilidad.

Podemos decir que, una interfaz es la parte de una aplicación informática que el usuario ve y con la cual interactúa. Está relacionada con la

subyacente estructura, la arquitectura y el código del software (Shneiderman, 1998). La interfaz incluye las pantallas, ventanas, menús, ayuda, documentación etc.

La interfaz que mostramos en este desarrollo informático para la visualización de estructuras anatómicas de la pelvis femenina, es fácil de comprender y muy sencilla de manejar, permitiendo a los usuarios hacer desempeñar una tarea de aprendizaje o formativa de la forma más sencilla y rápida. Posiblemente este sea uno de las principales ventajas que nuestro procedimiento ofrece además del carácter visual de las imágenes tridimensionales.

Por otra parte, queremos señalar que la evolución de las interfaces de usuario camina en paralelo con la de los sistemas operativos; de hecho, la interfaz constituye actualmente uno de los principales elementos de un sistema operativo (Royo, 2004). Así, el sistema operativo DOS, de los primeros PC, es el estilo más antiguo de interacción entre usuario y ordenador. El usuario escribe órdenes utilizando un lenguaje formal con un vocabulario y una sintaxis propia (los mandatos en el caso del DOS). Se usa un teclado, típicamente, y las órdenes estaban encaminadas a realizar una acción. El usuario no suele recibir mucha información por parte del sistema (ejemplo: indicador del DOS) y debe conocer cómo funciona el ordenador y dónde están los programas (nada está oculto al usuario). El modelo de la interfaz es el del programador, no el del usuario (Shneiderman, 1998).

Las interfaces de menús, contienen una lista de opciones que se muestran en el monitor o en una ventana de la pantalla, para que los usuarios elijan la opción que deseen. Los menús permiten dos cosas: navegar dentro de un sistema, presentando rutas que llevan de un sitio a otro y seleccionar elementos de una lista, que representan propiedades o acciones que los usuarios desean realizar sobre algún objeto.

Los menús contextuales o menús *pop-up* son los más recientes. Se llaman así porque el contenido del menú depende del contexto de trabajo del usuario. Contienen únicamente las opciones que son aplicables al objeto seleccionado, más algunas de uso frecuente que también son accesibles desde el menú de barra. Estas interfaces son ya típicas del sistema operativo Windows.

Las interfaces de menús, bien estructuradas, son buenas para usuarios noveles o esporádicos. Son fáciles de aprender y de recordar. Pueden existir menús simples y avanzados, para adaptarse al tipo de usuario.

Las recomendaciones para este tipo de interfaces es no ocupar demasiado espacio de la pantalla, recordar la información acumulada de menús precedentes, no colocar demasiados elementos en el menú y agruparlos de manera lógica.

Finalmente, otro tipo son las denominadas Interfaces gráficas, conocidos con las siglas, GUIs (*Graphical User Interfaces*). Fueron desarrolladas originalmente por XEROX (sistema Xerox Star, 1981, sin éxito comercial), aunque popularizadas por Apple (Steven Jobs se inspiró en los trabajos de Xerox y creó el Apple Lisa, 1983, sin éxito, y Apple Macintosh, 1984, con éxito debido en gran medida a su campaña publicitaria).

Los tres estilos más comunes de interfaces gráficas persona-ordenador son: lo que se ve, es lo que se puede conseguir (WYSIWYG What you see is what you get), manipulación directa e Interfaces de usuario basados en iconos.

Una GUI es una representación gráfica en la pantalla del ordenador de los programas, datos y objetos, así como de la interacción con ellos. Una GUI proporciona al usuario las herramientas para realizar sus operaciones, más que una lista de las posibles operaciones que el ordenador es capaz de hacer.

Este prototipo de interfaz es potenciada en nuestro desarrollo informático; entre las características más relevantes podríamos destacar las siguientes:

- Ejecutable y visible en un monitor gráfico de alta resolución.
- Opera con un dispositivo apuntador (ratón).
- Los usuarios pueden ver en la pantalla las imágenes y textos tal como los vería impresos.
- Sigue el paradigma de la interacción objeto-acción.
- Permite la transferencia de información entre programas (captura y archivo de imágenes).
- Se puede manipular en la pantalla directamente las estructuras anatómicas tridimensionales y su plano de visión.
- Existe una muestra visual de la información y modelos anatómicos 3D a través de iconos intuitivos y ventanas despleables.
- Proporciona respuesta visual a las acciones del usuario, de forma rápida (rotaciones de imagen, translaciones, zoom, etc.).
- Existen controles gráficos (*widgets*) para la selección de la información.
- Proporciona una excelente flexibilidad con el uso del ratón, para la navegación por el programa.

Queremos resaltar que, una característica importante de las GUI, es que permite manipular los objetos e información de la pantalla del ordenador y no sólo presentarla. No obstante, a nuestro parecer, sería muy recomendable que cualquier usuario que utilizara nuestra aplicación o cualquier otra de estas características técnicas conociera una serie de conceptos como son la organización del sistema operativo que maneja, diferentes tipos de iconos que aparecen en el programa así como el efecto de

las acciones que hacen cuando se pulsa sobre ellos, elementos básicos de una ventana, uso adecuado del ratón (sobre todo en aplicaciones como la nuestra en la que toda la manipulación de las imágenes se realiza a través de él).

En la actualidad, las interfaces más usadas son sin duda las de Microsoft Windows XP, las cuales se irán desplazando con la aparición de Microsoft Vista, y el sistema XP empezará a ser sustituido.

Lo que está claro es que esta nueva hornada de interfaces que está por llegar en los próximos meses o años, no será esencialmente diferente de lo que conocemos hoy en día. Un cambio radical de concepción está aún bastante lejano en el tiempo, por lo menos para lo que son los estándares en informática, y además no se conoce ningún desarrollo serio que se esté llevando a cabo en ese sentido. Sin embargo, es de suponer que la evolución de las interfaces gráficas pase por la adopción de las tres dimensiones y de nuevos paradigmas, alejados ya de los tradicionales. No cabe duda que sería muy interesante que la nueva generación de GUIs permitiese manipular la información de formas no ligadas a la realidad cotidiana, sino adaptadas a lo que es, algo mucho más abstracto. Así se podría pasar a un nuevo nivel de uso de las computadoras, haciendo previsiblemente más sencilla la manipulación de grandes cantidades de información y aumentando la productividad.

Además de lo anteriormente mencionado para la configuración de nuestro procedimiento informático, hemos tenido en consideración una serie de factores humanos al diseñar nuestra interfaz de usuario. Hemos tenido en cuenta las habilidades cognitivas y de percepción de las personas a las que principalmente va dirigida nuestra aplicación informática (residentes y especialistas en el campo de la ginecología y la radiología, sin descartar a los profesionales de la anatomía humana y los estudiantes de medicina), adaptando el programa a todos ellos.

Cada persona tiene unas habilidades muy distintas con el manejo del ordenador, y ésta debe utilizar las suyas para soslayar las de la máquina, tales como:

La Velocidad de Aprendizaje (con nuestro modelo de interfaz pretendemos que la persona aprenda a usar el sistema lo más pronto posible y le saque el mayor rendimiento para su formación médica en este campo).

La Velocidad de Respuesta, es decir, el tiempo necesario para realizar una operación entre las diferentes opciones que le ofrece el desarrollo informático.

La Retención, aspecto muy relevante de nuestro desarrollo informático, encaminado fundamentalmente hacia la formación y enseñanza médica en el conocimiento de la pelvis femenina a través de la imagen radiológica, valorando cuánto recuerda o retiene el usuario con el uso de nuestra aplicación en un período de tiempo determinado, así como la ventaja que ofrece este sistema de formación frente a otros procedimientos más tradicionales.

La Satisfacción, es decir, si el usuario que maneja el programa esté a gusto con el desarrollo y la metodología empleada para su formación.

Por otra parte, además de los aspectos mencionados anteriormente, hemos querido considerar otros que nos parecen igualmente importantes, destacando la visibilidad de las diferentes opciones del programa; la motivación por el programa, lo que hace que esté más tiempo aprendiendo. Esto se consigue si el usuario ve que realiza tareas muy específicas y se imita en gran medida el medio en el que se desenvuelve el usuario y que, sin lugar a dudas, verá en el ejercicio de su profesión con la que se encuentra identificado.

Ante estas consideraciones fue necesario llevar a cabo una prueba con los usuarios para validar, de alguna manera, su satisfacción con el manejo de nuestra herramienta de aprendizaje y como diseño de la misma. Por eso, hicimos una encuesta de satisfacción entre los usuarios potenciales de diferentes centros hospitalarios de nuestro país. Realizamos, por tanto, pruebas de usabilidad del producto, o con los propios usuarios finales del mismo (residentes y especialistas en el campo de la ginecología). Los datos mostrados en el capítulo de resultados de nuestra Tesis Doctoral muestran un claro nivel de satisfacción con nuestro desarrollo informático.

Por ello, cuando iniciamos todo el proceso de diseño de nuestro programa informático “centrado en las tareas y habilidades que debería asumir el usuario”, tuvimos algunas actividades implícitas en consideración, tales como: quién usará el sistema y para hacer qué; seleccionar las acciones más representativas para el diseño de la interfaz; no plagiar o copiar otros formatos o diseños que ya se hubieran realizado (por lo que nuestro programa es totalmente innovador); bosquejar y pensar un diseño atractivo para el usuario y, finalmente, dejamos la aplicación abierta a posibles y nuevas incorporaciones para mejorar la aplicación.

Además, hemos intentado en todo momento emplear las técnicas y los pasos más avanzados para el diseño de nuestra interfaz de usuario. Para ello, intentamos no colocar demasiados objetos en la pantalla y los que existen, pensamos que están bien distribuidos, ya que cada elemento visual influye en el usuario no sólo por sí mismo, sino también por su combinación con el resto de elementos presentes en la pantalla.

Por eso, a la hora de construir nuestro diseño informático hemos querido tener en cuenta otros aspectos como el número de elementos visuales que perciben el usuario como por ejemplo el color. Es probablemente el elemento de una interfaz que con más frecuencia es mal utilizado. El color comunica información, no es sólo decorativo; por eso deben utilizarse combinaciones adecuadas. El color debe atraer la atención,

pero no cansar después de un tiempo de trabajo. Es especialmente importante seguir las líneas de diseño existentes. Principio básico: diseñar primero en blanco y negro y luego añadir el color.

En nuestra aplicación informática, basada en imágenes en escala de grises como son las secciones de resonancia magnética que hemos empleado para nuestro estudio, hemos reconstruido, a partir de ellas, las estructuras anatómicas, dejando la libertad al usuario para que la dote del color que desee, de esta forma cada persona se identificará con aquello que halla seleccionado por algún motivo específico.

Hemos intentado hacer un buen uso de la terminología, sabiendo que, en ocasiones, existen pequeñas matizaciones o variaciones dependiendo de la especialidad médica. En todo caso, la nomenclatura anatómica internacional ha sido nuestra guía.

Igualmente hemos llevado a cabo un análisis y una elección de los distintos controladores del sistema informático. En muchas ocasiones tuvimos la duda de qué controles utilizar, dado que no existe una única forma correcta.

Existen diversas guías de diseño sacadas de expertos y comités, que complementan a las reglas de oro. Por citar algunas de ellas:

- Demasiada simetría puede hacer las pantallas difíciles de leer.
- Si se ponen objetos sin alinear, hacerlo drásticamente.
- Elementos de tamaño y color similares se perciben como pertenecientes a un grupo.
- Asumir errores en la entrada del usuario.
- Diseñar para el usuario, no para demostrar los propios conocimientos tecnológicos.

- Unos gráficos espectaculares no salvarán a una mal interfaz.

En definitiva, el conocimiento de estos puntos clave en la generación de diseños informáticos para la formación médica, nos permitirán enfocarnos mejor al estudio de la materia.

Las interfaces de usuario, como vínculo de inmersión del usuario en el entorno de trabajo tecnológico actual, realzan su importancia en el desarrollo de nuevos productos, más eficaces, eficientes e interactivos para la formación y enseñanza aprendizaje, que es lo que la sociedad de la información y comunicación demanda.

3.- Consideraciones sobre la aportación de las técnicas de imagen tridimensional en el conocimiento de estructuras anatómicas y en la práctica clínica.

A partir de la base de datos proporcionada por el proyecto Human Visible han proporcionado modelos anatómicos virtuales que configuran los que se puede llamar Anatomía Virtual (Temkin y col., 2000; 2002; Hatfield y col., 2002). Estos modelos permiten el desarrollo en numerosas aplicaciones prácticas, se puede interactuar con ellos e incluso se puede llegar a lo que en la actualidad se denomina el Cuerpo Humano Virtual, sobre el que se puede interactuar y efectuar en él nuestros proyectos (Spitzer y Scherzinger, 2006).

Muchas Facultades o Escuelas de Medicina utilizan una combinación, para el estudio de la Anatomía, de los métodos clásicos de enseñanza con la disección como modelo junto con modelos virtuales de diferentes estructuras del cuerpo humano. En este sentido Temkim y col. (2006) desarrollan una página Web basada en la enseñanza de anatomía mediante modelos tridimensionales utilizando la base de datos del Visible Human

Male, donde se puede localizar, explorar, seleccionar, extraer, estructuras virtuales de imágenes 2D y 3D.

La Clínica Mayo se ha caracterizado por ser una de las pioneras en la investigación para conseguir imágenes biomédicas que puedan ser visualizadas y analizadas (Robb, 1995; 2001). Con la base de datos del Human Visible y sus imágenes de alta resolución, en la clínica Mayo se ha llevado a cabo diversos proyectos aplicables en la práctica médica, tanto en el diagnóstico como en el tratamiento, como son: modelos de intervención en la próstata, pudiendo realizar un estudio anatómico de las relaciones de la próstata con los órganos vecinos, posibilidad de analizar las biopsias guiadas de próstata y otros como simulaciones endoscópicas virtuales (Robb y Satava, 1997; Robb 2000) o para realizar procedimientos anestésicos, así como múltiples aplicaciones docentes (Robb y Hason, 2006).

Estudios combinados entre especialistas, informáticos y anatomistas (Gerhrmann y col., 2006) han llevado a cabo un atlas interactivo de la mano, elaborado siguiendo los datos del Visible Human; según los autores proporciona nuevos datos interesantes para las intervenciones microquirúrgicas de la mano, que no proporcionan los atlas convencionales, combinando los detalles anatómicos con las nuevas posibilidades de interacción dirigidas a las tareas de enseñanza de la anatomía y la cirugía.

Deutsch (2006) utiliza la base de datos del proyecto Human Visible para estudios clínicos en gastroenterología tales como simuladores, libros de texto de imágenes de anatomía ecográfica, páginas Web, etc.

Idénticas posibilidades se pueden ir desarrollando con otros proyectos como el Visible Korean Human (ver Park y col., 2006) o con el proyecto Chinese Visible Human (ver Zhang y col., 2006). Sobre este último, combinando su base de datos con imágenes de resonancia magnética de pacientes se hace una reconstrucción tridimensional, enfocada al estudio de

la masa cerebral o creando modelos anatómicos virtuales (Li y col., 2006; Heng y col., 2006).

Según Spitzer y Scherzinger, (2006) se parte del Human Visible y se espera que alcance un gran desarrollo, orientado en cinco direcciones: Desde la muerte a la vida (y viceversa); desde la estructura a la función; Desde el adulto hacia el niño, hombre de mediana edad y viejo; desde lo normal a lo patológico y viceversa; desde lo normal al traumatismo y viceversa.

Desde la muerte a la vida (y viceversa). Los cortes en el cadáver dan una imagen estática de la anatomía, que está, con toda seguridad distorsionada, en mayor o menor grado, debido a los procesos postmortem. Así, es difícil su estudio de determinadas regiones, entre ellas la pelvis femenina, objeto de nuestro estudio, pero además otras como el estudio de la cavidad abdominal o torácica, el estudio de los vasos por falta de presión o el estudio cardiaco o pulmonar que se modifica en el vivo con la función. Por ello en el virtual Human Body se debe partir de cortes no del cadáver sino de imágenes del individuo vivo.

Desde la estructura a la función. La asociación de la morfología con la función es un dato más complicado, aunque ya se está estudiando y, de hecho, ya existen estudios referidos fundamentalmente a la función muscular, como por ejemplo, los efectos que sobre la mandíbula provocan los músculos masticadores en la masticación (Functional Anatomy of the Visible Human, v1: Head and Neck, UC Center for Human Simulation, 2005) o las consecuencias de la rotación en los movimientos de flexión de la rodilla (Eckhoff y col., 2003).

Desde el adulto hacia el niño, pasando por el hombre de mediana edad y viejo. Los forenses y los antropólogos han demostrado cambios con la edad en determinadas estructuras del cuerpo humano, como el cráneo y la pelvis (Taylor, 2000) y otros muchos cambios que deben ser considerados en un

buen desarrollo del cuerpo humano virtual, como son: atrofas musculares, tortuosidades venosas, calcificaciones, etc.

Desde lo normal a lo patológico. No hay duda que conociendo lo normal es más fácil conocer lo anormal; seleccionando cadáveres con alteraciones conocidas se puede llegar a tener una base de datos para conocer mejor en 3D las alteraciones que presenten. Igualmente, la introducción de imágenes de RM, como la utilizada en nuestro trabajo, permite la realización de un modelo virtual, personificado, en cada paciente. Los estudios de los ganglios linfáticos, la patología de las articulaciones y tumores localizados, pueden ser y de hecho van siendo objeto de estudio (Qatarnech y col., 2004).

Desde lo normal al traumatismo y viceversa. Después de la acción de fuerzas de presión, se llegan a producir lesiones traumáticas que pueden y deben ser estudiadas con más detalle mediante reconstrucciones 3D y así poder realizar llevar a cabo simulaciones que permitan, por ejemplo, un mejor traslado de pacientes después de un accidente, un mejor análisis de determinadas fracturas, etc.

Sin embargo, no todo son ventajas con esta metodología y es necesario tener en cuenta una serie de factores como son:

- Aumento del poder de resolución de las técnica.
- Tener una base amplia de proyecciones patológicas
- Tener una base amplia de piezas de distintas edades
- Tener en cuenta y por tanto poseer especímenes de mujeres en estado de gravidez, premenopáusicas o menopáusicas, nulíparas o multíparas, etc.

Los programas informáticos docentes basados en simulaciones, presentan un modelo o entorno dinámico (generalmente a través de gráficos o animaciones interactivas) que facilitan su exploración y pueden realizar aprendizajes inductivos o deductivos mediante la observación y la

manipulación de la estructura subyacente; de esta manera pueden descubrir los elementos del modelo, sus interrelaciones, y se pueden tomar decisiones y adquirir experiencia directa delante de unas situaciones que frecuentemente resultarían difícilmente accesibles a la realidad, como puede ser la posibilidad de simular un abordaje quirúrgico de forma virtual, a través del manejo y empleo de diferentes técnicas de imagen diagnóstica que visualizan la realidad anatómica del paciente.

Los estudios de imagen pueden facilitar el conocimiento de la anatomía y el diagnóstico de los procesos patológicos que afectan a las estructuras anatómicas como las pélvicas. Estas técnicas han ido cambiando a lo largo del tiempo, no sólo con vistas a la exactitud diagnóstica en sí, sino también como elemento de decisión fundamental a la hora de establecer un plan terapéutico.

Por eso, en el diagnóstico de los procesos patológicos de la pelvis tienen un papel preponderante las técnicas de diagnóstico por la imagen. Su contribución es imprescindible en el estudio de cualquier tipo de proceso patológico de la pelvis, unas veces como complemento de la exploración clínica, otras estableciendo la necesidad del empleo de otras técnicas diagnósticas, citología o histología, posibilitando la contribución de éstas a través de su localización exacta y como guía para obtener espécimen de este estudio. Pero si todo esto explica la importancia de las técnicas de imagen en el diagnóstico de la patología de la pelvis, hoy se le exige y debe contribuir, a veces de forma determinante, en la elección de la terapia más adecuada en función de la información que, en muchos casos, puede aportar estas técnicas de imagen para establecer un diagnóstico preciso.

En este sentido, la RM ofrece múltiples ventajas respecto a las otras técnicas de imagen como la tomografía computada o la ecografía transrectal, aunque su disponibilidad es más limitada. Las contraindicaciones de la RM incluyen pacientes con marcapasos, clips intracraneales de aneurisma, etc. Los pacientes claustrofóbicos requieren sedación, debido a que los equipos

de RM abiertos al mostrar campos magnéticos de baja potencia no son adecuados para un estudio fiable de la pelvis. La técnica de RM se ha beneficiado de un importante progreso en la tecnología, mejorando las antenas (bobinas) y las secuencias de adquisición para obtener estudios de alta resolución. El progresivo desarrollo ha permitido utilizar una bobina endorrectal en combinación a una bobina pélvica, permitiendo así un estudio completo y eficaz de toda la pelvis.

El protocolo de estudio incluye realizar secuencias potenciadas en T1 de toda la pelvis, desde la bifurcación aórtica hasta la sínfisis púbica para valorar la morfología y su posible afectación ósea. Posteriormente se realiza estudio de alta resolución de la región pélvica en los tres planos del espacio en secuencias T2. Las secuencias en supresión grasa no se han mostrado de eficacia superior en la evaluación de la pelvis.

Por tanto, la RM es una excelente herramienta en la evaluación y manejo de algunas pacientes seleccionados con patología ginecológica, urológica y coloproctológica, tanto benigna como maligna. Entre las indicaciones más relevantes en ginecología destacan: la valoración de anomalías congénitas del tracto urogenital, el diagnóstico y estadificación del carcinoma de cérvix y del endometrio, la valoración de pacientes con patologías benignas como la endometriosis, el dolor pélvico crónico. En Urología, la RM es de utilidad en el diagnóstico y estadificación de carcinoma de vejiga y en Coloproctología para el diagnóstico y estratificación del carcinoma de recto, la valoración de fístula ano-rectal compleja, dolor anal agudo, etc. Esta técnica permite también planificar la intervención en pacientes con tumores presacros y de tejidos blandos del periné.

En el campo de la Uroginecología o lo que denominamos también patología del suelo pélvico de la mujer, si bien la exploración física sigue siendo el método habitual de evaluación de las lesiones anatómicas y alteraciones de la estática pélvica, lo cierto es que la complejidad anatómica de esta región, y la necesidad de obtener una mejor evaluación con respecto

a la localización de una lesión, el compromiso adyacente y las posibilidades de tratamiento quirúrgico, han hecho que las imágenes obtenidas mediante el uso de la RM se consideren cada vez de mayor utilidad en el manejo de pacientes con prolapso genital, incontinencia de orina y fecal (Fielding, 2002; Chen y col., 2006). No obstante, aún no hay consenso en cuando deberían aplicarse y no está claro el impacto que la aplicación de la RM puede tener en el resultado final de los tratamientos aplicados a las pacientes con disfunciones del suelo pélvico (Novara y Artibani, 2006; Hubner y col., 2006).

La pelvis femenina es una región de especial complejidad anatómica, pues contiene órganos de morfología irregular (vejiga, útero, recto) y estructuras de soporte situadas en diferentes planos de profundidad (como los músculos de suelo pélvico) difíciles de representar y comprender a partir de imágenes en dos dimensiones.

Por tanto, una visualización de la pelvis femenina en tres dimensiones facilitaría el aprendizaje de esta parte del cuerpo humano.

En este sentido, nuestra aplicación informática supone un buen método de visualización 3D de la pelvis femenina, lo que facilita su valoración anatómica, haciendo uso de las capacidades gráficas avanzadas que hoy en día ofrecen los ordenadores. Con una interfaz gráfico muy intuitivo, nuestro procedimiento permite la observación de las distintas partes anatómicas en tres dimensiones a petición del usuario, teniendo como patrón de referencia las secciones de resonancia magnética en los tres planos del espacio (coronales, axiales y sagitales), pudiendo activar o desactivar la visualización de cada una de ellas. Además, nos ofrece una información documental sobre el elemento anatómico 3D seleccionado. Todo ello nos ha permitido establecer un modelo virtual tridimensional de la pelvis femenina, a partir de imágenes obtenidas mediante la resonancia magnética.

La reconstrucción 3D de las estructuras anatómicas de la pelvis femenina, embebidas en los datos volumétricos de resonancia magnética, constituye la forma más clara e intuitiva de análisis morfológico, puesto que el examen individual de las imágenes de los distintos cortes que componen una secuencia de resonancia magnética, no permiten una sencilla comprensión del conjunto de elementos anatómicos que componen esta zona corporal.

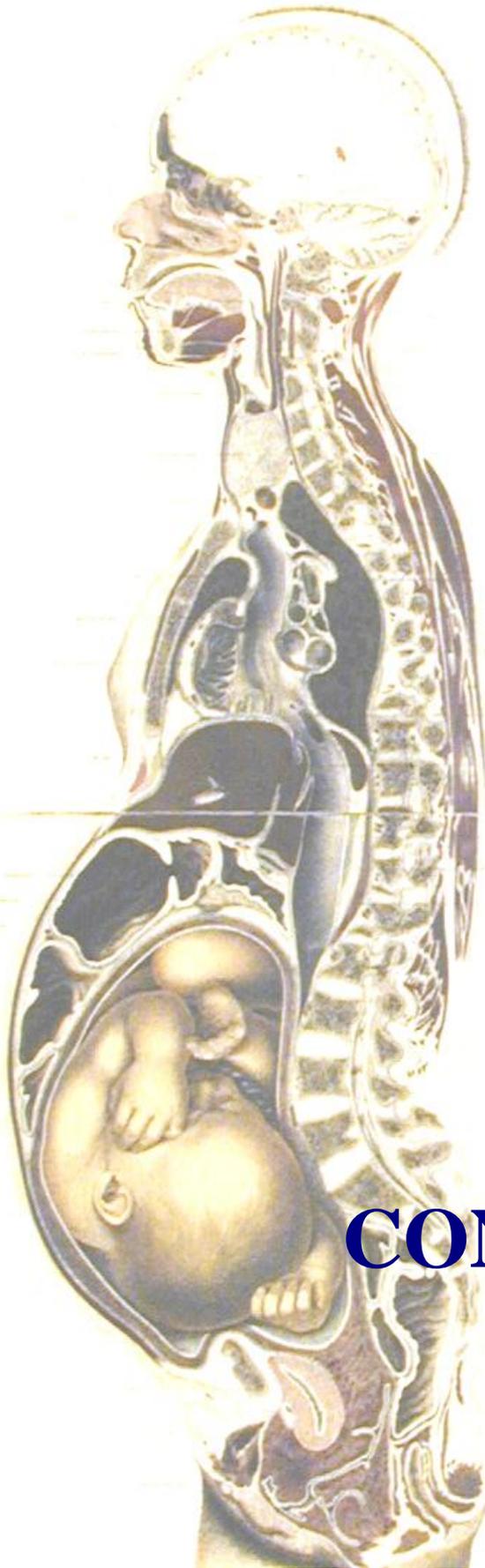
Actualmente, varios autores, entre los que nos incluimos, señalan que la reconstrucción y la visualización 3D de estructuras anatómicas de la cavidad pélvica aportan una información útil para un posterior diagnóstico clínico ante patologías de esta zona corporal. Por este motivo, durante los últimos años se ha investigado de forma intensa en este campo con el objetivo de automatizar el análisis de imágenes médicas 3D para el apoyo de las tareas diagnósticas y terapéuticas (Fielding y col., 2000; Parikh y col., 2004). Asimismo y de forma paralela al creciente interés que hoy despiertan las técnicas de la imagen en el campo de la exploración diagnóstica, se desarrollan las posibilidades que estos métodos ofrecen en el terreno de las ciencias morfológicas, y en concreto en el campo de la Anatomía Humana, como complemento de la información morfológica obtenida por la disección del cadáver. De esta forma es posible ampliar el estudio anatómico de los distintos órganos de nuestra economía, mediante las diferentes técnicas de imagen empleadas en la actualidad (Goh y col., 2000). La necesidad de formación tanto de los residentes como de los especialistas en ginecología y urología en el campo de la uroginecología y más concretamente de la anatomía quirúrgica de las estructuras pélvicas, hace que esta forma de aprendizaje se contemple como una nueva alternativa o un complemento a las utilizadas hasta el momento actual (Iglesias, 2005).

El desarrollo de aplicaciones informáticas que permitan representar modelos anatómicos en entornos virtuales aplicados a la enseñanza de la anatomía humana es otra área de gran interés. En esta línea, los profesores

de anatomía Prats y Juanes, (Juanes y col., 2003) han desarrollado una aplicación informática que genera un modelo para el estudio del cerebro humano con imágenes en 3D.

En el estudio que presentamos sobre la obtención de un modelo 3D para la visualización de las estructuras de la pelvis femenina, se obtuvieron imágenes a partir de una RM realizada a una mujer sana y nulípara. En otros estudios similares se han obtenido las imágenes a partir de RM en cadáver (Janda y col., 2003), desde nuestro punto de vista esto supone una limitación a la hora de la aplicabilidad en la práctica clínica de los datos obtenidos en los parámetros morfológicos del cadáver, dadas las características distintas de estas estructuras en relación a las del ser vivo.

A modo de resumen, queremos finalizar este capítulo de Discusión, de nuestra Tesis Doctoral, indicando que la anatomía virtual presenta ventajas considerables sobre la realidad del cadáver y puede además ofrecer diferentes visiones y perspectivas. El modelo virtual es estandarizable, transportable, duradero y permite incorporar la diversidad que existe en nuestra especie, proporcionando la oportunidad de aprender la anatomía a partir del ser humano vivo. La anatomía virtual para poder desarrollarse de una forma adecuada a las necesidades de formación de los profesionales de la salud en sus diferentes fases (formación básica, postgrado y formación continuada) debe ser capaz de integrar en sus modelos, distintas áreas del conocimiento médico: fisiología, patología, fisiopatología, etc. Para iniciar el camino, que sin duda será largo y para poder desarrollar esta área de forma adecuada, es fundamental la colaboración entre anatomistas, clínicos, radiólogos e informáticos. Pensamos que este trabajo que presentamos es un ejemplo claro de esta colaboración entre las distintas especialidades.



CONCLUSIONES

Después de ver expuestos los resultados de nuestro trabajo, hemos llegado a las conclusiones siguientes:

1ª.- La técnica de diagnóstico con Resonancia Magnética de alta resolución, constituye un buen medio para identificar las estructuras anatómicas que integran la pelvis femenina (paredes óseas, músculos y elementos viscerales), consiguiendo un excelente mapa anatómico del periné y de los órganos pélvicos.

2ª.- La alta resolución de contraste para el estudio de los tejidos blandos, permite efectuar con precisión la delimitación anatómica de las estructuras intrapélvicas, en los cortes tomodensitométricos, lo que facilitó la posterior reconstrucción tridimensional de la morfología pelviana.

3ª.- Los entornos de docencia con programas informáticos, constituyen una forma nueva de tecnología formativa, donde el aprovechamiento de todo este potencial tecnológico, es de gran utilidad en la formación médica y también en la práctica clínica.

4ª.- Las modernas técnicas informáticas de grafismo por ordenador, empleadas en nuestro estudio, nos han permitido desarrollar imágenes tridimensionales reales desde secciones de resonancia magnética, tomando una nueva entidad en el campo de las ciencias experimentales y de la salud, al posibilitar la creación y manipulación de imágenes médicas de estructuras corporales, con el objeto de originar entornos virtuales animados con fines docentes o prácticos.

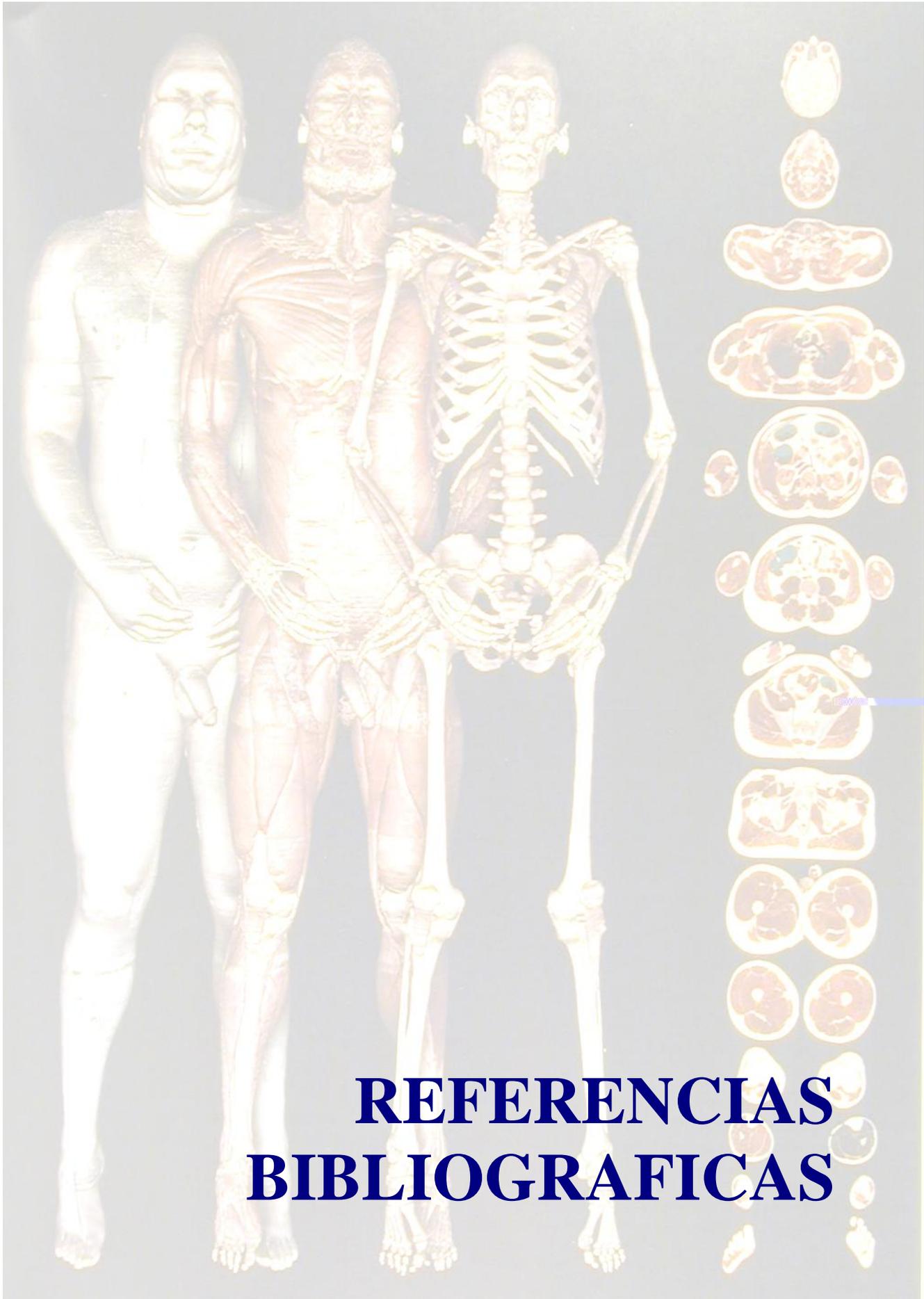
5ª.- El diseño informático desarrollado es totalmente innovador, y facilita el estudio, comprensión y aprendizaje de la anatomía de la pelvis femenina, posibilitando así, de una manera atractiva, dinámica, visual y animada, adquirir los conocimientos necesarios de los distintos elementos anatómicos y radiológicos de la pelvis femenina.

6ª.- El desarrollo informático realizado, permite experimentar con medios que se ajusten a nuestra realidad en las áreas de las ciencias médicas, por lo que al diseñar salas virtuales para la formación docente y experiencia práctica de la anatomía, radiología y patología del organismo humano, ayudará a simular situaciones que se presenten en distintos pacientes mediante estos procedimientos tecnológicos.

7ª.- Nuestro sistema informático, está controlado según la voluntad del usuario, por lo que existe una verdadera interacción entre el ordenador y el usuario, evitando así, en la medida de lo posible, que éste último se convierta en un mero espectador

8ª.- El procedimiento docente elaborado constituye una herramienta informática, rigurosamente cuidada, para que cualquier usuario en ciencias de la salud, puedan desarrollar, de forma autónoma, todo el proceso de enseñanza-aprendizaje de la anatomía de la pelvis, como si estuviera guiado por el profesor, que es quien ha coordinado y controlado toda la acción didáctica.

9ª y última.- La incorporación de las tecnologías informáticas al campo educativo supone un recurso útil y atractivo para la docencia de cualquier área de las ciencias de la salud. La formación, con el apoyo de métodos tecnológicos y programas informáticos interactivos, favorece sin duda el proceso de aprendizaje, estimulando al usuario en la consecución de objetivos docentes.



**REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS**

Ackerman MJ, Rifkin BA, Folkenberg J. 2006. Human Anatomy. Depicting the Body from the Renaissance to Today. Thames & Hudson.

Alcaraz M. 2003. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. Servicio Publicaciones Universidad Murcia. Murcia.

Alvarez M. 1984. Informática para docentes. Anaya. Madrid.

Amat Muñoz P, Smith-Agreda JM. 2008. ESCOLAR: Anatomía Humana funcional y aplicada. Tomo 2, Espaxs, 5ª Edición.

Anderson JG, Jay JS. 1987. Use and impact of computers in clinical medicine. New York, Springer-Verlag.

Avolio S. 1981. Planeamiento del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje. Marymar S.A. Buenos Aires.

Bajka M, Manestar M, Hug J, Székely G, Haller U, Groscurth P. 2004. Detailed anatomy of the abdomen and pelvis of the visible human female. Clin Anat, 17: 252-260.

Bakker AR, Ball MJ, Scherrer JR, Willems JL. 1988. Towards New Hospital Information System, Noth-Holland Publ Comp. Amsterdam

Bartoli JM, Moulin G, Delannoy L, Chagnaud C, Kasbarian M. 1991. The normal uterus on magnetic resonance imaging and variations associated with the hormonal state. Surg Radiol Anat, 13: 213-220.

Bartolomé A. 1989. Nuevas tecnologías y Enseñanza. Graó-ICE UB. Barcelona

Bazot M, Deligne L, Boudhhene F, Buy JN, Truc JB, Nassau PJ, Bigot JM. 1998. Anatomic approach to the parametrium: value of computed tomographic in vitro study compared to dissection. Surg Radiol Anat, 13: 17-22.

Beccaría LP, Rey PE. 1999. La inserción de la Informática en la Educación y sus efectos en la reconversión laboral". Instituto de Formación Docente -SEPA-. Buenos Aires.

Bernard AM, De Certaines JD, Le Jeune JJ. 1988. Resonance Magnétique Nucléaire. Masson. Paris.

- Cabrero FJ.** 2004. Imagen radiológica. Principios físicos e instrumentación. Masson. Barcelona.
- Cahill DR.** 1997. Lachman's case studies in anatomy. 4th Edition. New Cork: Oxford University Press.
- Castillejo, JL.** 1986. Tecnología y Educación. CEAC. Barcelona.
- Chen L, Ashton-Miller JA, HSU Y, Delancey JO.** 2006. Interaction among apical support, levator ani impairment and anterior vaginal wall prolapse. *Obstet Gynecol*, 108: 324-332.
- Contreras DJ.** 1990. Enseñanza, Currículum y Profesorado. Introducción crítica a la Didáctica, Akal. Buenos Aires.
- Cottam WW.** 1999. Adequacy of medical school gross anatomy education as perceived by certain postgraduate residency programs and anatomy course directors. *Clin Anat*, 12: 55-65.
- Cuena J.** 1986. Inteligencia artificial: sistemas expertos. Alianza. Madrid.
- De Pablos J, Gortari C.** 1992. Las nuevas tecnologías de la información en la educación. Alfar. Sevilla.
- Deutsch JC.** 2006. Applications of the Colorado Visible Human Project in Gastroenterology. *Clin Anat*, 19: 254-257.
- Diop M, Parratte B, Tatu L, Vuiller F, Brunelle S, Monnier G.** 2003. Mesorectum: the surgical value of an anatomical approach. *Surg Radiol Anat*, 25: 290-304.
- Eckhoff DG, Bach, JM, Spitzer VM, Reining KD, Bagur MM, Baldini TH, Rubinstein D, Humphries S.** 2003. Three-dimensional morphology and kinematics of the distal part of the femur viewed in virtual reality. Parte II. *J Bone Joint Surg Am*, 85 (Suppl 4): 97-104
- Educational Affaire Committee. American Association of Clinical Anatomists.** 2001. Clinical Anatomy and the Physical Examination Part I: Thorax, Abdomen, Perineum and Pelvis. *Clinical Anatomy*, 14: 332-348.
- Elster, AD.** 1986. Magnetic Resonance Imaging. A reference Guide and Atlas, Lippincott. Boston
- Enriquez F, Martínez D.** 1991. Metodología para la informatización de la historia clínica. Rama. Madrid.
- Fielding JR.** 2002. Practical MR imaging of female pelvic floor weakness. *Radiographics*, 22: 295-304.

Fielding JR, Dumanli H, Scheeyer AG, Okuda S, Gering DT, Zou KH, Kikinis R, Jolesz FA. 2000. MR-based three-dimensional modeling of the normal pelvic floor in women: quantification of muscle mass. *AJR Am J Roentgenol*, 174: 657-660.

Fiesch M. 1987. *Inteligencia artificial en medicina. Sistemas expertos.* Masson. Barcelona.

Fleckenstein P, Jensen JT. 1995. *Bases anatómicas del diagnóstico por la imagen.* Mosby, Doyma. Madrid.

Freund WA. 1885. *Das Bindegewebe im weiblichen Becken und seine pathologische Veränderung.* Gynäkolog Klinik I Band.

Fröhlich B, Hötzing H, Fritsch H. 1997. Tomographical Anatomy of the Pelvis, Pelvis Floor, and Related Structures. *Clin Anat*, 10: 223-230.

Gadian DG. 1982. *Magnetic Resonance and its applications to living systems.* Clarendon Press. Oxford.

García-Porrero JA, Hurle JM. 2005. *Anatomía Humana.* McGraw Hill. Interamericana. Madrid.

Garg A, Norman G, Spero L, Taylor I. 1999. Learning anatomy: do new computer models improve spatial understanding. *Med Teacher*, 21: 519-522.

Gehrmann S, Höhne KH, Linhart W, Pflesser B, Pommert A, Riemer M, Tiede U, Windolf J, Schumacher U, Rueger JM. 2006. A Novel Interactive Anatomie Atlas of the Hand. *Clin Anat*, 19: 258-266.

Gervás JJ. 1987. *Los sistemas de registro en la atención primaria de salud.* Díaz de Santos, Madrid

Goh V, Halligan S, Kaplan G, Healy JC, Bartram C. 2000. Dynamic MR imaging of the pelvic floor in asymptomatic subjects. *AJR* 174: 661-666.

Gunby P. 1982. The new wave in medicine: Nuclear Magnetic Resonance. *JAMA*, 247: 151-159.

Hatfield P, Temkin B, Griswold JA, Deeb SA, Dev P, Heinrichs WL, Srivastava S, Waldron K. 2002. Volumetric virtual body structures. *Stud Health Technol Inform*, 85: 185-187

Heng PA, Zhang SX, Xie YM, Wong TT, Chui YP, Cheng CY. 2006. Photorealistic Virtual Anatomy Based on Chinese Visible Human Data. *Clin Anat*, 19: 232-239.

Hoyte L, Schierlitz L, Zou KG, Fleshg J. 2001. Two- and 3-dimensional MRI comparison of levator ani structure, volume, and integrity in women with stress incontinence and prolapse. *Am J Obstet Gynecol*, 185: 11-19.

Hubner M, Hetzer F, Weishaupt D, Hahnloser D, Clavien PA, Demartnes N. 2006. A prospective comparison between clinical outcome and open-configuration magnetic resonance defecography findings before and after surgery for symptomatic rectocele. *Colorectal Dis*, 8: 605-611.

Iglesias Guiu X. 2005. La cirugía vaginal convencional en la reparación anatómica y funcional del prolapso genital. *Suelo Pélvico*, 1: 34.

Jacobson HG. 1987. Fundamentals of magnetic resonance imaging. *JAMA*, 258: 3417-3423.

Janda S, Van Der Helm FC, De Blok SB. 2003. Measuring morphological parameters of the pelvic floor for finite element modelling purposes. *J Biomech*, 36: 749-757.

Jashtrow H, Vollrath L. 2002. Anatomy online: Presentation of a detailed WWW atlas of human gross anatomy-reference for medical education. *Clin Anat*, 15: 402-408.

Jiménez B, González AP, Ferreres V. 1989. Modelos didácticos para la innovación educativa. PPU. Barcelona.

Juanes JA, Prats A, Lagándara ML, Riesco JM. 2003. Application of the «Visible Human Project» in the field of anatomy: a review. *European Journal of Anatomy*, 7: 147-159.

Kean, DM, Smith MA. 1986. Magnetic resonance imaging: principles and applications. Williams & Wilkins. Baltimore.

Kearney R, Miller JM, Delancey JO. 2006. Interrater reliability and physical examination of the pubovisceral portion of the levator ani muscle, validity comparisons using MR imaging. *Neurourol Urodyn*, 25: 50-54.

Kocks J. 1880. Die normale und pathologische Lage und Gestalt des Uterus. Bonn.

Li L, Liu YX, Song ZJ. 2006. Three-Dimensional Reconstruction of Registered and Fused Chinese Visible Human and Patient MRI Images. *Clin Anat*, 19: 225-231.

Macchi V, Munari PF, Brizzi E, Parenti A, De Caro R. 2003. Workshop in Clinical Anatomy for Residents in Gynecology and Obstetrics. *Clin Anat*, 16: 440-447.

Mackenrodt. 1885. Ueber die Ursachen der normal und pathologischen Lagen des Uterus. *Archiv Gynecologischen*, XLVIII: 393-421.

Mansfield P, Morris PG. 1982. NMR Imaging in Biomedicine. Academic Press. Philadelphia.

Margulis AR, Kaufman L, Crooks LE. 1982. Nuclear Magnetic Resonance Imaging in Medicine. Igaku-Shoin. New York.

- Marqués P.** 1999. El software educativo. Universidad de Barcelona.
- Moore KL, Dalley II AF.** 2007. Anatomía con orientación clínica. Panamericana. 5ª edición. Madrid
- Netter, FH.** 2007. Atlas de Anatomía Humana. Elsevier Masson. 4ª edición.
- Novara G, Artibani W.** 2006. Imaging for urinary incontinence: a contemporary perspective. *Curr Opin Urol*, 16: 219-223.
- Oelrich TM.** 1983. The striated urogenital sphincter muscle in the female. *Anat Rec* 205: 223-232.
- Oh C, Kart AE.** 1972. Anatomy of the external anal sphinter. *Br J Surg* 59: 717-723.
- Ortega P, Martinez F.** 1994. Educación y Nuevas Tecnologías. Paraninfo. Madrid
- Orts LLorca F.** 1967. Anatomía Humana. Tomo III. Científico Médica
- Pansky B.** 1998. Review of gross anatomy. McMillan Publishing. New York
- Parikh M, Rasmussen M, Brubaker L, Salomon C, Sakamoto K, Everhouse R, Ai Z, Damaser MS.** 2004. Three-dimensional virtual reality model of the normal female pelvic floor. *Ann Biomed Eng*, 32: 292-296.
- Park JS, Cheng MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH, Park HS.** 2005. Visible Korean human: Improved serially sectioned images of the entire body. *IEEE Trans Med Imaging*, 24: 352-360.
- Park JS, Cheng MS, Hwang SB, Shin BS, Park HS.** 2006. Visible Korean Human: Its Techniques and Applications. *Clin Anat*, 19: 216-224.
- Platzer W.** *Pernkopf Anatomía.* 1995. V.2. Marban. Madrid.
- Poirier P, Charpy A, Cuneo B.** 1909. *Abrégé d'Anatomie.* V.3. Masson, París
- Qatarnech SM, Kirikuta IC, Brahme A, Lind BK.** 2004. 3D atlas on lymph node topography based on the visible human dataset En: Kirikuta IC. The lymphatic system, new developments in oncology and IMRT. Disponible en www.target-volume-meeting.com
- Rinck PA, Petersen SB, Muler RN.** 1986. Introducción a la resonancia magnética nuclear biomédica. Panamericana. Buenos Aires.
- Rivera Porto E.** 1993. La computadora en la educación. Ed. Publicaciones Portorriqueñas. San Juan.

- Robb, RA.** 1995. Three-dimensional biomedical imaging. Principles and practice. New York, NY: VCH Publishers, Inc. P 1-282.
- Robb RA, Satava, RM.** 1997. Virtual endoscopy: Applications of 3-D visualization to medical diagnosis. *Presence* 6: 179-197.
- Robb, RA.** 2000. Virtual endoscopy: Development and evaluation using the Visible Human Datasets. *Comput Med Imaging Graph*, 24: 133-151.
- Robb RA.** 2001. The biomedical imaging resource at Mayo Clinic. *IEEE Trans Med Imaging*, 20: 854-867.
- Robb RA, Hanson DP.** 2006. Biomedical Image Visualization Research Using the Visible Human Datasets. *Clin Anat*, 19: 240-253.
- Rodríguez Lamas R.** 2002. *Introducción a la Informática Educativa*. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana.
- Roger FH, Santucci G.** 1987. *Perspectives of Information processing in Medical Applications*, Springer-Verlag, Berlín
- Romanes GJ.** 1987. *CUNNINGHAM: Tratado de Anatomía*. Interamericana-Mc Graw-Hill. Madrid.
- Rouviere H, Delmas A.** 2005. *Anatomía Humana: descriptiva, topográfica y funcional*. Edit. Masson. Tomo 2. Barcelona.
- Royo J.** 2004. *Diseño Digital*. Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona.
- Salinas J.** 1994. Hipertexto e hipermedia en la enseñanza universitaria. *Pixel-Bit*. Revista de Medios y Educación. N°1. Enero. pp. 15-29.
- Shafik A.** 1975. A new concept of the anatomy of the anal sphincter mechanism and the physiology of defecation. I. The external anal sphincter: a triple-loop system. *Invest Urol*, 12: 412-419.
- Shafik A.** 1976a. A new concept of the anatomy of the anal sphincter mechanism and the physiology of defecation. II. Anatomy of the levator ani muscle with special reference to the puborectalis. *Invest Urol*, 13: 175-182.
- Shafik A.** 1976b. A new concept of the anatomy of the anal sphincter mechanism and the physiology of defecation. III. The longitudinal anal muscle: anatomy and role in anal sphincter mechanism. *Invest Urol*, 13: 271-282.
- Shirai Y, Tsujii J.** 1987. *Inteligencia artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Ariel. Barcelona.
- Shneiderman B.** 1998. *Designing The user interface, Strategies for effective Human-computer interaction*. Addison-Wesley

- Shortliffe E, Perreault L.** 1990. Medical informatics: Computer applications in health care. New York, Addison-Wesley.
- Sobejano A, Tomas JM, Muñoz C.** 1992. Manual de Resonancia Magnética. Jims. Barcelona.
- Sopena R, Marti-Bonmati L, Vilar J.** 1996. Algoritmos en diagnóstico por imagen. Masson. Barcelona.
- Spitzer VM, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock D.** 1996. The Visible Human male: A technical report. J Am Med Inform Assoc, 3: 118-130.
- Spitzer VM, Whitlock DG.** 1998. The Visible Human dataset: The anatomical platform for human simulation. Anat Rec (New Anat), 253: 49-57
- Spitzer VM, Scherzinger AL.** 2006. Virtual Anatomy: An Anatomist's Playground. Clinical Anatomy, 19: 192-203.
- Stark DD, Bradley WG.** 1987. Magnetic Resonance Imaging. Mosby. Chicago.
- Taylor KT,** 2000. Forensic art and illustration. Boca Raton, FL: CRC Press LLC
- Temkin B, Acosta E, Malvankar A, Vaidyanath S.** 2006. An interactive three-dimensional virtual body structures system for anatomical training over the internet. Clin Anat;19: 267-274.
- Temkin B, Stephens B, Acosta E, Wei B, Hatfield P.** 2000. Virtual body structures. En: Proceedings of the 3rd visible human conference, Bethesda, Maryland.
- Temkin B, Acosta E, Hatfield P, Onal E, Tong A.** 2002. Web-based three-dimensional Virtual Body Structures: W3D-VBS. JAMIA 9: 425-436.
- Testut L, Latarjet A.** 1968. Tratado de Anatomía Humana. Tomo II. Salvat S.A. Barcelona.
- Tunn R, Delancey JO, Quin EE.** 2001. Visibility of pelvic organ support system structures in magnetic resonance images without an endovaginal coil. Am J Obstet Gynecol, 184: 1156-1161.
- Tunn R, Delancey JO, Howard D, Ashton-Miller JA, Quin EE.** 2003. Anatomic variations in the levator ani muscle, endopelvic fascia, and urethra in nulliparas evaluated by magnetic resonance imaging. Am J Obstet Gynecol, 188: 116-121.
- Tunn R, Goldammer K, Neymeyer J, Gauruder-Burmester A, Hamm B, Beyersdorff D.** 2006. MRI morphology of the levator ani muscle, endopelvic fascia, and urethra in women with stress urinary incontinence. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 126: 239-245.

Vázquez R, Riesco JM, Juanes JA, Blanco E, Rubio M, Carretero J. 2007. Educational strategies applied to the teaching of anatomy. The evolution of resources. *Eur J Anat*, 11 (supp 1) 31-43.

Willians PL, Warwick R. 1980. *Gray's Anatomy*. Churchill Livingstone. New York.

Woodman PJ y Graney DO. 2002. Anatomy and Physiology of the Female Perineal Body With Relevance to Obstetrical Injury and Repair. *Clin Anat*, 15:321-334.

Witkowski GJ. 1890. *La generación humana*. C. Bailly-Bailliere Edit. Madrid

Zhang SX, Heng PA, Liu ZJ, Tan LW, Qiu MG, Li QY, Liao RX, Li K, Cui GY, Guo YL, Yang XP, Liu GJ, Shan JL, Liu JJ, Zhang WG, Chen XH, Chen JH, Wang J, Chen W, Lu M, You J, Pang XL, Xiao H, Xie YM. 2003. Creation of the Chinese Visible Human data set. *Anat Rec*, 275B: 190-195.

Zhang SX, Heng PA, Liu ZJ. 2006. Chinese Visible Human Project. *Clinical Anatomy*, 19: 204-215.