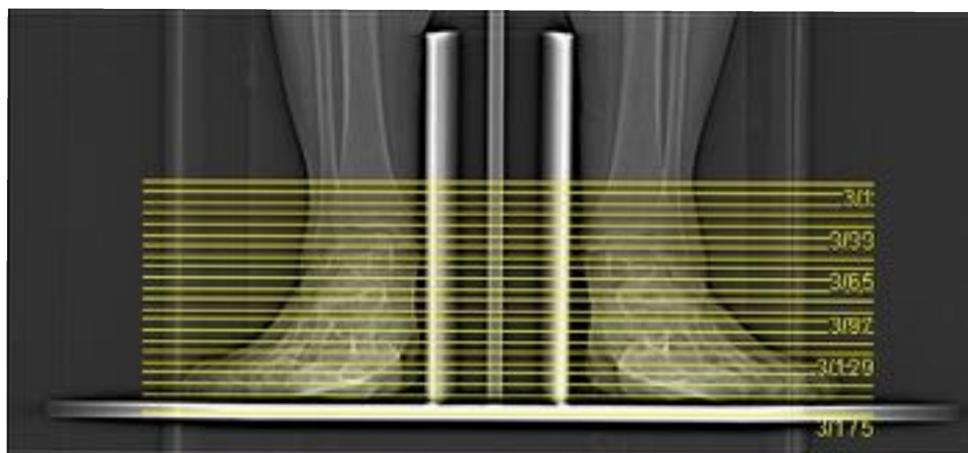


## Uso alternativo del TC de tobillo-pie con simulación en carga. Estudio comparativo de dosis-exposición frente a la radiología convencional.



Nassr Aldin Abbas Khoja<sup>1</sup>, Alfonso Encinas Mozo<sup>2</sup>, Gloria Liaño Esteso, Borja Gutierrez<sup>2</sup>, Alfredo Javier Martinez<sup>2</sup>, Marcos Almeida<sup>2</sup>, Eduardo Sacristán<sup>2</sup>, Noelia Delgado<sup>2</sup>

1 Hospital General de La Palma (Breña Alta)

2 Hospital Universitario Infanta Leonor (Madrid)



# OBJETIVO

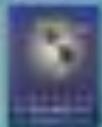
El diagnóstico de la patología del tobillo y pie se apoya en múltiples pruebas de imagen, que abarcan desde la radiología convencional, ecografía, TC, RM o incluso mediante uso de técnicas de medicina nuclear.

En el diagnóstico de la patología articular y para la valoración inicial de los planos blandos se hace uso de técnicas convencionales con RX mediante distintas proyecciones.

Dentro de la radiología convencional las proyecciones más habituales incluyen RX en tobillo-pie en carga que se añaden a las realizadas en el estudio básico AP y lateral.

Esto conlleva la realización de al menos 3 proyecciones, lo que aumenta los índices de exposición a la radiación.

Existen además muchos casos donde la radiología convencional no aporta un enfoque óptimo de la sospecha diagnóstica, lo que conlleva el uso de técnicas complementarias que implican una mayor exposición a radiación ionizante.



Por lo descrito anteriormente en nuestro centro se ha realizado un estudio comparativo de dosis-exposición del TC de tobillo-pie con simulación en carga frente a la técnica convencional.

**El objetivo de este estudio es demostrar que el TC es un candidato real para ser el GOLD- STANDARD en la valoración de patologías de tobillo-pie.**



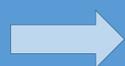
# MATERIAL Y MÉTODOS

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo referido se realizó un estudio retrospectivo de una serie de casos. En dicha serie de casos se añaden una serie de 47 pacientes aleatorios que en el mes de Septiembre de 2019 se les realizó estudio de RX en 3 proyecciones y posterior TC con simulación en carga.

A posteriori se procede a procesar los datos recogidos por el Servicio de Radioprotección de nuestro centro mediante un índice de conversión de la dosis efectiva del TC para comparativa con RX en 3 proyecciones. El Índice de medida inicial usado fue dGy/cm<sup>2</sup> con conversión de la misma a mSv.

Septiembre  
2019



Serie de  
pacientes con  
Rx de Pie en  
carga y TC



47 pacientes  
aleatorios



Resultados



Conversión y  
comparación



Recogida y  
análisis de  
datos



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 ¿ POR QUÉ USAR UN ÍNDICE DE CONVERSIÓN?

Cabe recordar que los efectos de la radiación en el tejido son dos: **efectos deterministas** y **efectos probabilísticos**.

Los **efectos deterministas** son aquellos que aparecen como consecuencia de elevadas exposiciones a radiación ionizante , lo cual básicamente sería el daño celular y/o tisular que se puede alcanzar en una alta exposición y va a depender solamente de la energía total medida en Gy. Por los bajos niveles de radiación en técnicas diagnósticas dichos efectos tienen escasa importancia en la radiología.

Los **efectos probabilísticos** se definen como el aumento de la probabilidad de provocar daño celular y/o tisular dependiendo de varios factores como son el tipo de radiación, la energía de la misma y del tejido sobre el que incide. Son la medida principal de la nocividad de la exposición, la más usada en radiología y con un índice de medida en Sv.

Con el uso del índice de conversión de Gy a Sv se busca valorar los efectos probabilísticos de mayor importancia en las técnicas radiológicas con radiación ionizante frente a los efectos deterministas.



## 2. REQUISITOS TÉCNICOS INICIALES

Los requisitos técnicos planteados por el servicio de traumatología de nuestro centro eran los siguientes:

- 1.- El estudio tenía que tener una resolución de bordes mínima que permitiera una reconstrucción tridimensional lo más exacta posible.
- 2.- El estudio no podía tener un Pitch mayor de 1 para evitar la existencia de datos por interpolación. El Pitch es un termino que en TC define la relación entre la velocidad de la mesa y el tiempo de giro. Es un factor inversamente proporcional a la dosis de radiación o dicho de otro modo a mayor Pitch mayor grosor de corte.



## 3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y EQUIPOS USADOS EN EL ESTUDIO.

### 3.1 EQUIPOS USADOS EN EL ESTUDIO

Las radiografías convencionales se realizaron con un equipo digital General Electric. Para el TC se usó un equipo Siemens Somaton Essential.

### 3.2 INCONVENIENTES A MANEJAR

A pesar de que lo deseable para las reconstrucciones sería obtener datos con vóxel isométricos y atendiendo al trabajo publicado en *XIII Congreso Nacional Sobre Dosimetría de Estado Sólido. Medición del Perfil de Dosis en Equipos de Tomografía Axial Computarizada usando Dosímetros Termoluminiscentes* (1), se decidió usar un FOV personalizado para cada caso y lo más ajustado posible, sin que esto a posteriori provocara ningún problema en las reconstrucciones realizadas.

El grosor de corte que se eligió para maximizar la resolución de bordes fue de 0,4 mm escogiendo para ello sólo los detectores centrales del arco del TAC. De dicho modo se evita el aumento de dosis innecesaria para la obtención de una imagen idónea.



## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.1- PROTOCOLO INICIAL\*(2).

El protocolo de partida escogido fue el de TC MIEMBROS INFERIORES con las siguientes características:

KV de 100

Ms de 120

Pitch de 0,9

Reconstrucción de 1,5

Detectores de 0,6 y 1,2

\*Las características del protocolo origen con sus datos técnicos y dosis está referenciado por el Dr. Luis Mazas Artasona en su artículo Radiología en la Red: (2) dosis de radiación absorbida en las exploraciones de tomografía coputarizada (DLP) (Observed dose to organs in computed tomography examinations ) by Luis Mazas Artasona. Diciembre 2016



## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.2. PROTOCOLO MODIFICADO PARA DISMINUCIÓN DE DOSIS.

Se realizaron estudios de prueba con fantoma en los que se van modificando distintos parámetros para respetando los requisitos técnicos disminuir la dosis. Dando como resultado los siguientes datos técnicos:

KV de 100

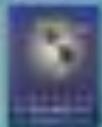
Ms de 80

Pitch de 1

Reconstrucción de 0,6

Detectores de 0,6

Algunas modificaciones se realizaron como Compensación de resolución del somatón (aumento del mAs para compensar la imagen cuando el pitch es más alto). Hay que recordar que el Incremento de la radiación dispersa es mayor cuanto más grande sea el FoV (1) modificaciones tomadas de “Medición del Perfil de Dosis en Equipos de Tomografía Axial Computarizada usando Dosímetros Termoluminiscentes J.C. Azorín-Vega 1 , C. Falcony1 ' 2 y J. Azorín-Nieto”)



## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.2. PROTOCOLO MODIFICADO PARA DISMINUCIÓN DE DOSIS.

El resultado de las pruebas tras la modificación de los datos técnicos fue brillante con un DLP de 89 mGy\*cm, el equivalente a la mitad de la dosis del protocolo modelo inicial.

13-Sep-2019 10:52

Sección:  
Médico examinador:  
Técnico:

mAs total 964 **DLP total 89 mGy\*cm**

	Scan	KV	mAs / ref.	CTDIvol mGy	DLP mGy*cm	Ti s	cSL mm
Posición del paciente F-SP							
Topograma	1	120		0.14(L)	3.63	2.5	0.6
MMI	2	120	74	6.15(L)	86.09	1.0	0.6



## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.3. MÉTODO TÉCNICO Y MATERIAL USADO EN LA SIMULACIÓN DE CARGA MEDIANTE TC

Para la recreación de la carga en TC se usó una estructura de melacrilato en la cual el/la paciente ya en decúbito apoyaba ambos pies sobre la base de la estructura.

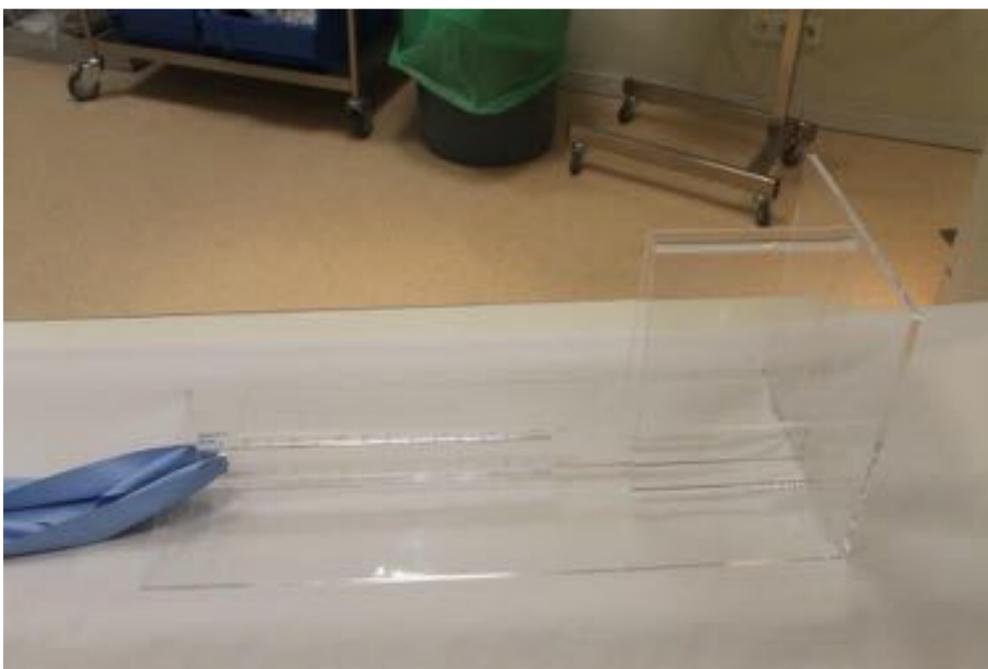
En un segundo tiempo haciendo uso de bandas elásticas se le pide al paciente que tire de las mismas hacia los hombros.

## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.3.- MÉTODO TÉCNICO Y MATERIAL USADO EN LA SIMULACIÓN DE CARGA MEDIANTE TC

a) plataforma de metacrilato

b) bandas elásticas



a) Plataforma de metacrilato



b) Bandas elásticas.

## 4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO

### 4.3.- MÉTODO TÉCNICO Y MATERIAL USADO EN LA SIMULACIÓN DE CARGA MEDIANTE TC



a) Colocación del paciente en decúbito supino con las rodillas flexionadas y los pies en contacto con el piso de metacrilato. Posteriormente tensionar las bandas desde los hombros hasta el soporte.



b) Extensión de las piernas comprimiendo la planta de los pies contra la base de metacrilato.

## 5. REALIZACIÓN DEL TC DE TOBILLO-PIE EN CARGA

Se comprueba la viabilidad del estudio en pacientes con patología a los cuales el servicio de traumatología les indica la realización de un TC de pies para planificación de cirugía con los siguientes resultados de dosimetría.

13-Sep-2019 10:52

Sección:  
 Médico examinador:  
 Técnico:

mAs total 964    **DLP total 89 mGy\*cm**

	Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol mGy	DLP mGy*cm	Ti s	cSL mm
Posición del paciente F-SP							
Topograma	1	120		0.14(L)	3.63	2.5	0.6
MMI	2	120	74	6.15(L)	86.09	1.0	0.6

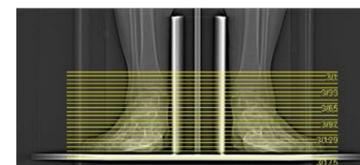
Figura 1. Resumen de parámetros técnicos y dosis.  
 DLP total de 89 mGy\*cm.



## 6. ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DOSIS RX VS TC

Tras valorar la viabilidad del procedimiento mediante , el siguiente paso fue la recogida de datos de una serie de 47 pacientes escogidos de manera aleatoria que acudieron a nuestro centro en el mes de septiembre del 2019 por patología relacionada con el pie , a los cuales se les realizó en un primer momento estudio de pies en carga con 3 proyecciones y a posteriori un TC con la técnica descrita.

**47 PACIENTES  
ALEATORIOS**





## 6. ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DOSIS RX VS TC

### 6.1 RECOGIDA DE DATOS DE DOSIS POR PROYECCIÓN, DOSIS TOTAL Y PROMEDIO DE LOS PACIENTES INCLUIDOS EN EL ESTUDIO.

PACIENTE	AP	LET.UDOL.	LET.OCHO.	TOTAL
1	0.44	0.325	0.332	1.097
2	1.001	0.604	0.604	2.209
3	0.362	0.581	0.581	1.524
4	0.824	0.48	0.486	1.79
5	0.388	0.821	0.821	2.03
6	0.483	1.389	1.13	2.801
7	0.389	0.723	0.753	1.865
8	0.734	0.459	0.459	1.652
9	0.388	0.734	0.732	2.094
10	0.459	0.651	0.653	1.763
11	0.488	0.602	0.602	1.792
12	0.756	0.913	0.854	2.523
13	0.571	0.691	0.481	1.743
14	0.59	1.092	1.091	2.773
15	1.08	0.761	0.761	2.602
16	0.821	0.481	0.49	1.802
17	0.827	0.983	0.987	2.897
18	0.491	0.608	0.609	1.708
19	0.619	0.882	0.88	2.381
20	0.319	0.438	0.437	1.194
21	0.689	0.579	0.577	1.845
22	0.381	0.612	0.603	1.596
23	0.682	0.715	0.71	2.107
24	0.581	0.812	0.788	2.181
25	0.618	0.678	0.68	1.976
26	0.803	0.783	0.784	2.37
27	0.871	0.451	0.451	1.773
28	0.459	0.502	0.503	1.464
29	0.389	0.789	0.812	1.979
30	0.451	1.001	0.389	2.487
31	0.321	0.513	0.513	1.347
32	0.316	0.587	0.386	1.289
33	0.311	0.672	0.689	1.672
34	0.534	0.431	0.431	1.396
35	0.412	0.349	0.349	1.11
36	0.458	0.411	0.81	1.679
37	0.476	0.971	0.854	2.401
38	0.56	0.672	0.672	2.104
39	0.473	0.583	0.487	1.543
40	0.671	0.381	0.451	1.493
41	0.492	0.782	0.782	2.056
42	0.689	0.319	0.318	1.326
43	0.891	0.653	0.81	2.334
44	0.678	0.81	0.788	2.287
45	0.316	0.578	0.577	1.471
46	0.349	0.44	0.441	1.23
47	0.471	0.613	0.613	1.697
PROMEDIO	0.685	0.649	0.637	1.971

Tabla 1. Recogida de datos de la Dosis aplicada en las 3 proyecciones y la Dosis total.



# RESULTADOS

## 7.- RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA DOSIS RX VS TC

### 7.1 GESTIÓN , ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE LOS DATOS PARA COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIOS.

Tras la recogida de datos se realiza un análisis comparativo entre la dosis aplicada a pacientes en la prueba de radiología convencional de **PIES EN CARGA** (3 proyecciones) y la dosis aplicada a dichos pacientes en la técnica de **TC DE PIES**.

A posteriori previa consulta al servicio de Radioprotección de la Unidad Central de Radiodiagnóstico y reafirmado por los mismos, se realiza una conversión de los resultados de dosis absorbida ( $\text{dGy} \cdot \text{cm}^2$ ) a dosis efectiva o equivalente (mSv). Con ello se pretende representar de mejor manera el riesgo estocástico para la salud entre ambas técnicas.

Se aplica **un índice de conversión de 0,1** (para exposición en miembros inferiores). Dicha cifra tan baja da lugar a una pregunta técnica muy habitual.

**¿Por qué el índice de conversión de la dosis medida en Gy en el TC de pie es tan baja?**



## 7.- RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA DOSIS RX VS TC

### 7.1 GESTIÓN , ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE LOS DATOS PARA COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIOS. EL ÍNDICE DE CONVERSIÓN.

**Por qué el índice de conversión de la dosis medida en Gy en el TC de pie es tan baja?** Las razones son varias:

1ª El tejido sobre el que realizamos la exposición ; véase piel, hueso y músculo. Que son tejidos muy poco radiosensibles. Esto es lo que hace que el índice de conversión tenga en cuenta no solo la exposición sino también el tejido.

2ª Dispersión de la radiación (efecto compton). La radiación dispersa en el TC por la dirección del haz iría desde el centro del hueco del gantry hacia afuera y en esa zona no hay pacientes. En la radiología convencional en cambio al estar el paciente en bipedestación si encontraríamos tejido.

3ª Energía del haz. Al ser un haz más energético disminuye la cantidad de radiación dispersa (cuanta más velocidad lleve una partícula más difícil es que vea su trayectoria desviada).

4ª Colimadores. La colimación real en radiología convencional es mucho menos estricta que en un TC donde los colimadores impiden la salida del foco de partículas de trayectoria no lineal hacia los detectores.



## 7.- RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA DOSIS RX VS TC

### 7.2 MÉTODO DE CÁLCULO Y RESULTADO FINAL DE LA DOSIS EN 3 PROYECCIONES:

Método de cálculo de la dosis equivalente global de las 3 proyecciones:

Se aplica el índice de conversión de 0,1 ( para exposición en miembros inferiores).

Dosis equivalente media que se expone un paciente en un estudio de pies en carga con 3 protecciones.

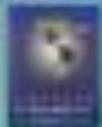
Aplicando, por tanto, un índice de conversión de 0,1 (índice de conversión para exposición en miembros inferiores) la dosis equivalente media a la que se expone un paciente al que se le realiza un estudio de pies en carga 3 proyecciones, sería la siguiente:

$$1 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2 = 0,1 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$$

**Índice de conversión de  $\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$  a  $\text{mSv} = 0,1$**

Tasa media de exposición en  $\text{dGy} \cdot \text{cm}^2$  para las tres proyecciones del estudio de pies en carga en radiología convencional sería de 1,891.

Con el cálculo anteriormente referido **el resultado final medido en  $\text{mSv}$  sería:**  $1,891 \times 0,1 \times 0,1 = 0,0189 \text{ mSv}$  de dosis equivalente en un estudio tres proyecciones de pies en carga.



## 7.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DOSIS RX VS TC

### 7.2 MÉTODO DE CÁLCULO Y RESULTADO FINAL DE LA DOSIS EN TC

Método de calculo de la dosis equivalente en TC:

El estudio de dosis de TC para pies simulando carga nos da un DLP medio de 89 mGycm.

El índice de conversión para obtener la dosis equivalente en sievert sería de 0,0002. Dicha cifra se toma usando como referencia el artículo (3) Estimates of effective dose for TC scans of the lower extremities . (Ref. Radiology 2014 oct;273(1):153-9. doi: 10.1148/radiol.14132903. Epub 2014 Jun 16. Estimates of effective dose for CT scans of the lower extremities. Saltybaeva N, Jafari ME, Hupfer M, Kalender WA)

El TC realizado nos da un DLP de 89 mGy\*cm.

El índice de conversión de 0,0002.

$$89 \times 0,0002 = 0,018$$

**Resultado final de 0,018 mSv** de dosis equivalente en un estudio de TC.



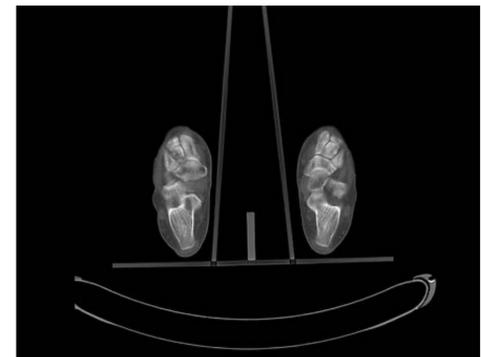
## 7.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DOSIS RX VS TC

### 7.3 COMPARACIÓN ENTRE AMBAS TÉCNICAS.

Tras el método de conversión usado para la comparativa la dosis equivalente entre ambas técnicas es prácticamente similar.



**0,018 mSV**



**0,0189mSV**



## 8. APROBACIÓN DEL CÓMITE DE ÉTICA DEL HOSPITAL INFANTA LEONOR

Dado los resultados positivos adquiridos en el estudio, el comité de ética del Hospital Infanta Leonor aprueba el uso del TC para la evaluación inicial de los pacientes con indicación por parte del servicio de traumatología.



# DISCUSIÓN

Tras los grandes resultados obtenidos junto con la aprobación del comité de ética, el debate gira en torno a si el TC debería ser siempre la técnica de primera elección.

En nuestra experiencia creemos que el TC sin ser la técnica de primera elección en pacientes donde exista sospecha de lesión de Lisfranc, el TC debe ser la técnica de inicio, ya que no solo aportará un diagnóstico más certero, si no que ayudará a la planificación quirúrgica en estos pacientes con el factor añadido de evitar una exposición inicial a la radiología convencional.

En otros enfoques diagnósticos se debe valorar junto con los servicios peticionarios. No se debe olvidar que el acceso a técnicas convencionales siempre es más sencilla y menos costosa que el TC.

**EL TC DEBE SER LA TÉCNICA  
INICIAL EN PACIENTES CON  
SOSPECHA DE LESIÓN DE  
LISFRANC.**



# CONCLUSIÓN

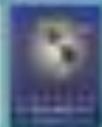
El diagnóstico de la patología de tobillo-pie se apoya en gran medida en técnicas de imagen.

Clásicamente la radiología convencional con técnica de simulación en carga era la primera prueba de imagen solicitada.

El TC de pie con simulación de carga bajo unos protocolos técnicos definidos presenta una dosis equivalente similar que asociado a su mejor resolución diagnóstica la convierte en un serio candidato a ser la técnica **GOLD STANDARD**.

Un equipo multidisciplinar debe valorar la necesidad de prescindir de la radiología convencional que presenta como principal ventaja su fácil acceso y menor costo.

En casos concretos como lesión de Lisfranc el TC debe ser la técnica de inicio ya que aporta un diagnóstico más certero y facilita la planificación y el abordaje quirúrgico si lo precisa.



# BIBLIOGRAFÍA

1. Medición del Perfil de Dosis en Equipos de Tomografía Axial Computarizada usando Dosímetros Termoluminiscentes J.C. Azorín-Vega<sup>1</sup>, C. Falcony<sup>1, 2</sup> y J. Azorín-Nieto<sup>13</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-IPN, México J.D.F. Centro de Investigación y Estudios Avanzados-IPN, México, D.F. <sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México J.D
2. Radiología en la Red: dosis de radiación absorbida en las exploraciones de tomografía coputarizada (DLP) (Observed dose to organs in computed tomography examinations). Luis Mazas Artasona. Diciembre 2016.  
<https://radiologiadetrinchera.wordpress.com/2017/03/24/radiologia-en-la-red-dosis-de-radiacion-absorbida-en-las-exploraciones-de-tomografia-computarizada-dlp-absorbed-dose-to-organs-in-computed-tomography-examinations-by-luis-mazas-artasona-diciembr>
3. Estimates of effective dose for TC scans of the lower extremities . (Ref. Radiology 2014 oct;273(1):153-9. doi: 10.1148/radiol.14132903. Epub 2014 Jun 16. Saltybaeva N, Jafari ME, Hupfer M, Kalender WA