

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**EFFECTO DE LA MODIFICACION EN LOS PARAMETROS DE EMISION  
DE RAYOS X Y LA EDUCACION DEL MEDICO SOBRE LA DOSIS DE  
RADIACION EMITIDA DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE  
INTERVENCIONISMO ENDOVASCULAR CORONARIO**

Por

**DR. JOSE RAMON AZPIRI LOPEZ**

Como requisito para obtener el Grado de

**DOCTOR EN MEDICINA**

Diciembre 2012

**EFFECTO DE LA MODIFICACION EN LOS PARAMETROS DE EMISION  
DE RAYOS X Y LA EDUCACION DEL MEDICO SOBRE LA DOSIS DE  
RADIACION EMITIDA DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE  
INTERVENCIONISMO ENDOVASCULAR CORONARIO**

Aprobación de tesis:

---

Dr. med. José Gerardo González González  
Director de la Tesis

---

Dr. C. Guillermo Elizondo Riojas  
Co-Director de la Tesis

---

Dr. med. Oscar de la Garza Castro  
Miembro de la Comisión de Tesis

---

Dr. C. Gloria María González González  
Miembro de la Comisión de Tesis

---

Dr. med. Raúl Reyes Araiza  
Miembro de la Comisión de Tesis

---

Dr. med. Gerardo Enrique Muñoz Maldonado  
Subdirector de Estudios de Posgrado

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, quien toleró el tiempo que me separé de ellos para realizar mis estudios del Doctorado en Medicina.

# TABLA DE CONTENIDO

	Página
Capítulo I	
1. Resumen .....	1
Capítulo II	
2. Marco Teórico .....	4
2.1. Introducción .....	5
2.2. Métricas de la radiación .....	5
2.3. La radiación por estudios médicos de imagen .....	8
2.4. Riesgos de la exposición a la radiación por imagen médica .....	12
2.5. Factores que contribuyen a la exposición innecesaria a la radiación .....	19
2.5.1. Situaciones relacionadas al uso de los aparatos .....	19
2.5.2. Situaciones relacionadas al proceso de decisión clínica .....	23
2.6. Motivación para esta investigación .....	27
2.6.1. Información previa .....	27
2.6.2. Originalidad .....	29
2.6.3. Justificación .....	30

Capítulo III.	
3. Hipótesis .....	31
Capítulo IV	
4. Objetivos .....	33
4.1. Objetivo general .....	34
4.2. Objetivos específicos .....	34
Capítulo V	
5. Material y métodos .....	35
5.1. Recursos humanos .....	36
5.1.1. Pacientes .....	36
5.1.1.1. Criterios de inclusión .....	36
5.1.1.2. Criterios de exclusión .....	36
5.1.1.3. Criterios de eliminación .....	36
5.1.1.4. Procedencia de los pacientes .....	36
5.1.2. Personal médico .....	36
5.2. Recursos biológicos .....	37
5.3. Recursos materiales .....	37
5.3.1. Salas angiográficas .....	37
5.3.2. Semáforo de radiación .....	37

5.4. Recursos financieros .....	38
5.5. Recursos metodológicos .....	39
5.5.1. Diseño .....	39
5.5.2. Detalles del procedimiento .....	39
5.5.2.1. Intervención .....	39
5.5.2.2. Protocolo .....	40
5.5.2.3. Variables .....	40
5.5.2.4. Evaluación de diferencias entre salas .....	40
5.5.3. Análisis estadístico .....	41
5.5.3.1. Estadística descriptiva .....	41
5.5.3.2. Comparación de variables .....	41
5.5.3.3. Poder del estudio .....	42
Capítulo VI	
6. Resultados .....	43
Capítulo VI	
7. Discusión .....	51
Capítulo VIII	
8. Conclusiones .....	59

Capítulo IX

9. Bibliografía .....	62
-----------------------	----

Capítulo X

10. Resumen autobiográfico .....	69
----------------------------------	----

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1. Métricas de la radiación .....	6
2. Dosis de radiación proveniente de diversos tipos de estudios de imagen médica .....	12
3. Efectos deterministas de una dosis única de radiación aplicada a cuello, tórax, abdomen, muslos o glúteos .....	15
4. Métricas de radiación en un hospital de la localidad en 2009 .....	28
5. Puntos clave para disminuir la exposición a radiación .....	54

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Contribución porcentual de las diversas fuentes de radiación a la población de los Estados Unidos de América en el año 2006 .....	10
2. Lesiones cutáneas inducidas por radiación .....	16
3. Semáforo de radiación .....	38
4. Fluencia en ambas salas de angiografía .....	45
5. $K_{a,r}$ y $P_{KA}$ antes y después del entrenamiento en protección radiológica .....	46
6. $K_{a,r}$ y $P_{KA}$ antes y después del entrenamiento en protección radiológica. Comparación entre reducir de 15 ips fluoroscopia con 30 ips grabación a 15/15 ips y 7.5/15 ips respectivamente .....	47
7. Comparación de métricas entre médicos que asistieron o no al entrenamiento en protección radiológica .....	48
8. Distribución de radiación antes y después del entrenamiento .....	49
9. Distribución de acuerdo al semáforo de radiación entre asistentes y no asistentes al entrenamiento en protección radiológica .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
cols	Colaboradores
Gy	Gray
ips	Imágenes por segundo
$K_{a,r}$	Kerma-aire en el sitio de referencia
kV	Kilovoltios
mA	miliamperes
$P_{KA}$	Producto kerma-aire por área
Sv	Sievert

## **CAPITULO I**

### **RESUMEN**

**Objetivo:** Evaluar si el entrenamiento a los médicos cardiólogos intervencionistas ayuda a disminuir la cantidad de radiación administrada a los pacientes durante los procedimientos de angioplastia coronaria con implantación de stent.

**Antecedentes:** La angioplastia coronaria expone a los pacientes a dosis altas de radiación ionizante, posiblemente relacionada a mal uso del equipo o entrenamiento inapropiado.

**Métodos:** Se registraron en forma prospectiva el kerma aire en el sitio de referencia ( $K_{a,r}$ ) y el producto kerma área ( $P_{KA}$ ) durante un periodo de seis meses en pacientes que fueron sometidos a angiografía coronaria y angioplastia con implantación de stent en el mismo procedimiento. Todos los intervencionistas fueron invitados a una conferencia acerca del uso apropiado de la radiación y cambios en la programación de el equipo de rayos X. Se recolectaron las métricas de la radiación durante el semestre siguiente y se compararon las mediciones del primero y segundo semestre para todo el grupo y para aquellos que asistieron y los que no asistieron a la conferencia.

**Resultados:** El  $K_{a,r}$  se redujo de  $5.44 \pm 0.3$  ( $n=106$ ) a  $3.39 \pm 0.22$  Gy ( $n=112$ ),  $P < .0001$  y el  $P_{KA}$  de  $365.4 \pm 21.1$  a  $233.7 \pm 13.1$  Gy  $\cdot$  cm<sup>2</sup>,  $P < .0001$ . No hubo diferencias en la radiación emitida por los diferentes cardiólogos durante el primer semestre del estudio, sin embargo, durante el segundo semestre hubo un 34% de diferencia en el  $K_{a,r}$  entre aquellos que asistieron a la conferencia comparados con los que no ( $2.78 \pm 0.23$  Gy vs  $4.18 \pm 0.37$  Gy,  $P = .002$ ), tomando

en cuenta que en ambos grupos se disminuyeron los parámetros de emisión de rayos X.

**Conclusión:** Los cambios en los parámetros de emisión de rayos X reducen la cantidad de radiación que se administra a los pacientes, situación que fue más evidente en aquellos que asistieron a la conferencia informativa. Es importante educar a los cardiólogos acerca del uso apropiado de los equipos modernos de rayos X.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

## 2.1. Introducción.

El ser humano está sujeto a radiación electromagnética todo el tiempo. Los rayos X son una forma de radiación electromagnética cuya longitud de onda varía de los 0.1 a los 10 nm, con frecuencias que van de los  $3 \times 10^{16}$  a  $3 \times 10^{19}$  Hz y energías de los 100 eV a los 120 keV. Se encuentran en el espectro electromagnético entre los rayos ultravioleta y los rayos gamma. El espectro de mas alta energía tiene la capacidad de atravesar cierto objetos sólidos y de allí su aplicación en la radiología clínica. Los rayos X tienen características ionizantes, es decir, poseen capacidad de modificar la carga eléctrica de la materia a través de intercambio de electrones.

## 2.2. Métricas de la radiación.

Durante el resto del manuscrito, se estarán mencionando en forma repetida diversas métricas de la radiación, por lo que es pertinente familiarizarse con las mismas, las cuales se sintetizan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Métricas de la radiación.

<b>Medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Utilidad</b>	<b>Unidad</b>
Exposición	Evalúa la capacidad ionizante de la radiación	Evalúa en nivel de riesgo en una localización espacial	Coulomb/k (antes Roengten)
Dosis absorbida	Cantidad de energía depositada localmente por unidad de masa de tejido	Mide a concentración de energía depositada en el tejido	Gray (antes Rad)
Dosis equivalente	Medida de los efectos biológicos de la radiación en el humano	Utilizada para evaluar riesgo de personal sanitario	Sievert (antes rem)
Dosis efectiva	Medida de los efectos biológicos de la radiación en el humano	Toma en cuenta la radiosensibilidad de cada tejido	Sievert (antes rem)

La **exposición** evalúa la capacidad ionizante de la radiación, lo cual es trascendente ya que permite estimar el riesgo en una localización espacial y su unidad de medición en el Coulomb/k (antes Roengten).

La **dosis absorbida** es la cantidad de energía depositada localmente por una unidad de masa de tejido y su unidad es el Gray (Gy), que es la radiación requerida para depositar 1 Joule en 1K de tejido (antes Rad).

La **dosis equivalente** es la medida de los efectos biológicos de la radiación en el humano y es la métrica mas utilizada para evaluar el riesgo del

personal sanitario. Su unidad de medición es el Sievert (Sv). Su unidad fue conocida previamente como rem.

La **dosis efectiva** también evalúa los efectos biológicos de la radiación en los tejidos, pero toma en cuenta la radiosensibilidad específica de cada uno de ellos. Al igual que en la dosis equivalente, su unidad de medición es el Sievert (Sv).

Recientemente, el Consejo Internacional de Unidades de Radiación en su reporte 74 sugieren que la dosis absorbida debe expresarse en la forma de **kerma**, del inglés *kinetic energy released to matter*, o en castellano, energía cinética liberada a la materia. El kerma es la suma de energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas liberadas por las partículas no cargadas en una masa de materia. Su unidad es el J/kg, con el nombre especial de Gray (Gy). De acuerdo a este reporte, el kerma y la dosis absorbida son equivalentes entre sí, pero el mejor método de medición es el kerma medido en el aire libre en el eje central del tubo de rayos X a una distancia especificada del punto focal. Para los rayos X utilizados en imagen médica, la calibración se realiza en términos de kerma aire debido a que esta es la métrica utilizada por los sistemas de metrología internacionales (1,2).

Dado que el kerma puede medirse en diferentes lugares en el trayecto entre el sitio de salida del rayo y el sitio de entrada al organismo, pero que las mediciones en estos sitios es compleja y requiere de dispositivos especiales, el consenso general ha sido la utilización de la unidad llamada **kerma aire en el sitio de referencia** ( $K_{a,r}$ ), que se evalúa en forma automatizada por dispositivos internos de la máquina de rayos X. Su unidad de medición es el Gy (3).

Por otra parte, la dosis absorbida en algún sitio de entrada, también es determinada por el grado de magnificación que se utilice al realizar las diversas proyecciones radiográficas utilizadas en la clínica. Entre mayor sea la magnificación, la cantidad de radiación adsorbida por el tejido irá siendo exponencialmente mayor. El producto kerma aire área ( $P_{KA}$ ), es la suma acumulada del producto del kerma aire instantánea y el área del campo de rayos X. Su unidad de medición es el  $Gy \cdot cm^{-2}$  (3).

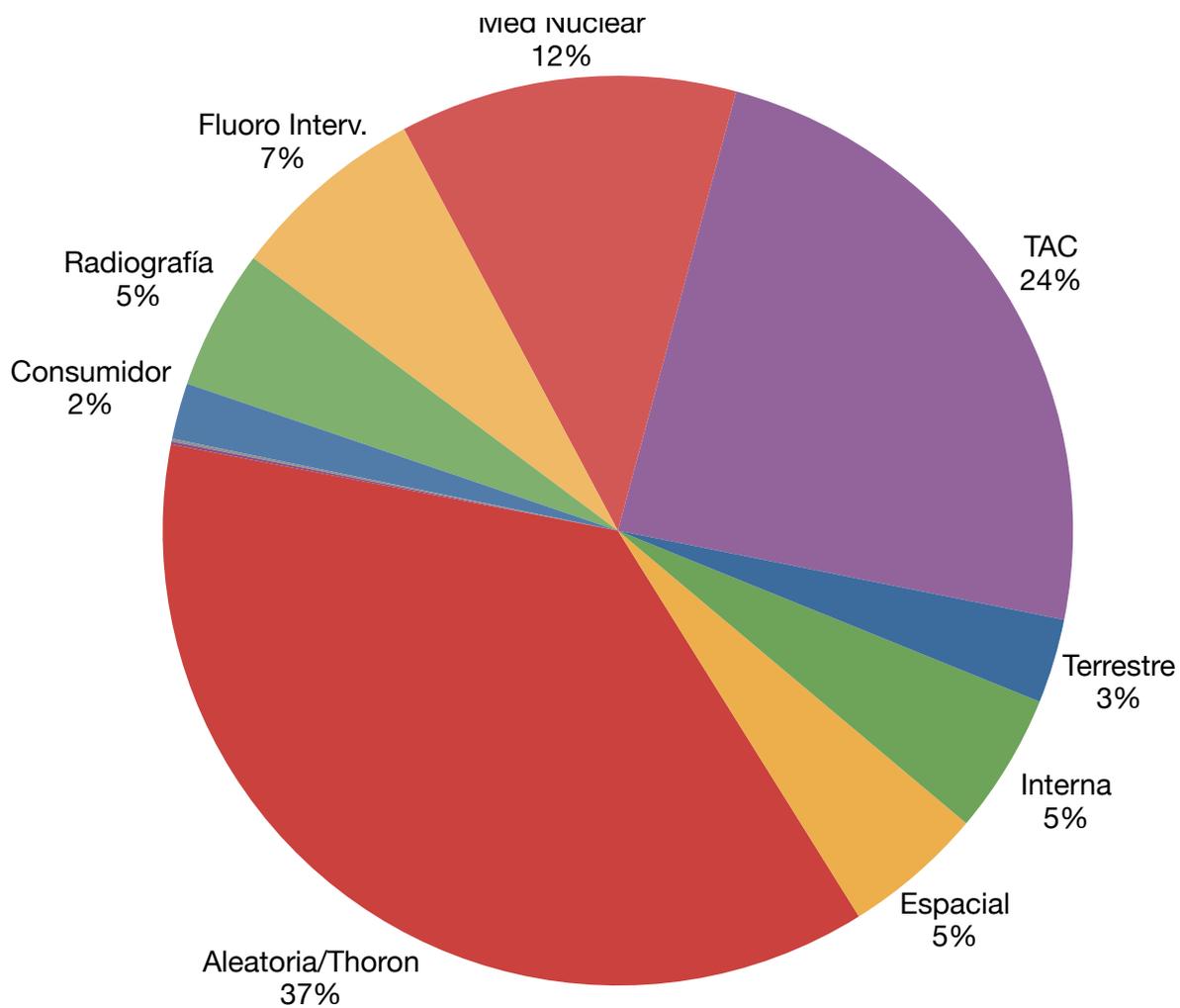
### 2.3. La radiación por estudios médicos de imagen.

De acuerdo al reporte 160 del Consejo Nacional de Protección de la Radiación de Estados Unidos de América, en el año 2006, la población de ese país recibió una dosis efectiva individual total de 6.2 mSv, de la cual, el 48% provino de estudios o procedimientos de imagen médica (4). Sus distribuciones porcentuales se aprecian en la Figura 1. Aunque la dosis efectiva de 6.2 pareciera baja, debe enfatizarse que se incrementó de 3.6 que ocurrió en 1980.

Los procedimientos de imagen ofrecen al médico información clínica importante y pueden apoyar en el diagnóstico o la planeación de procedimientos, servir de guía en la colocación de catéteres y prótesis endovasculares, ayudar en la detección temprana de enfermedades y vigilar

terapéuticas que permitan reducir la morbilidad y aumentar la expectativa de vida de un individuo.

Hay varias modalidades de procedimientos de imagen médica, los cuales utilizan diversas técnicas y tecnologías. La imagen por ultrasonido utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para evaluar los tejidos blandos. La imagen por resonancia magnética (IRM) utiliza ondas de radio y campos magnéticos para producir imágenes. Contrario a éstos, la radiografía, la tomografía computada, la fluoroscopia y los procedimientos de medicina nuclear, utilizan todos radiación ionizante para generar las imágenes corporales.



**Figura 1.** Contribución porcentual de las diversas fuentes de radiación a la población de los Estados Unidos de América en el año 2006.

Al igual que todos los procedimientos médicos, la fluoroscopia y otros exámenes de imagen presentan riesgos y beneficios. Estos exámenes de imagen médica, han generado avances en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades. Sin embargo, también exponen al paciente a radiación ionizante, la cual puede elevar el riesgo de un individuo de desarrollar efectos

tóxicos agudos y tardíos, como el cáncer. Este tipo de radiación tiene suficiente energía como para causar daño potencial al DNA, aunque como se mostró en la figura 1, todos estamos expuestos a cierto grado de radiación ionizante que ocurre en forma natural y cuya dosis efectiva promedio es cercana a los 3 mSv por año (5).

Debido a que la tomografía computada, la fluoroscopia y los procedimientos de medicina nuclear conllevan exposición repetida o prolongada a la radiación, generan frecuentemente dosis mayores de radiación que las radiografías simples. Por ejemplo, la dosis efectiva de una tomografía computada de cabeza (2 mSv) es equivalente a una dosis efectiva para un adulto de aproximadamente 100 radiografías de tórax y una tomografía de abdomen (8 mSv) a aproximadamente 400 radiografías de tórax. La Tabla 2 muestra una comparación de las dosis de radiación de diversos procedimientos de imagen médica. Mientras la tomografía computada, la fluoroscopia intervencionista y los estudios de medicina nuclear ocupan solamente el 26% de los estudios de imagen que utilizan radiación ionizante que se realizan anualmente en los Estados Unidos de Norteamérica, ellos contribuyen con el 89% del total de la exposición anual a la radiación derivada de imagen médica.

**Tabla 2.** Dosis de radiación proveniente de diversos tipos de estudios de imagen médica (6).

<b>Tipo de Procedimientos</b>	<b>Dosis efectiva promedio para un adulto (mSv)</b>	<b>Dosis estimada equivalente (No. de radiografías de tórax)</b>
Rayos X dentales	0.005-0.01	0.25-0.5
Radiografía de tórax	0.02	1
Mamografía	0.4	20
Tomografía computada	2-16	100-800
Medicina nuclear	0.2-41	10-2050
Fluoroscopia intervencionista	5-70	250-3500

#### 2.4. Riesgos de la exposición a la radiación por imagen médica.

De acuerdo al reporte de el Consejo Nacional de Protección de Radiación (NCRP) de Marzo de 2009, la exposición total a radiación ionizante de la población total de los Estados Unidos de Norteamérica se ha duplicado en las dos últimas décadas, de 3.6 mSv per cápita en 1980 a 6.25 mSv per cápita en el año 2006 (4). Este incremento es principalmente atribuible a las tomografías

computadas, los estudios de medicina nuclear y de fluoroscopia intervencionista. Ello es debido a los 67 millones de tomografías, 18 millones de estudios de medicina nuclear y 17 millones de procedimientos de fluoroscopia intervencionistas realizados en Estados Unidos de Norteamérica en el 2006 y las predicciones sugieren que estos números continuarán creciendo (4).

Los efectos nocivos de la radiación ionizante pueden ser clasificados en dos tipos: **deterministas** y **estocásticos**.

a) Efectos Deterministas. El término determinista proviene de la doctrina del determinismo, en donde, según el diccionario de la Real Academia Española, es la teoría que supone que los fenómenos naturales están completamente determinados por las condiciones iniciales. Así, los efectos deterministas derivan de la exposición aguda a la radiación ionizante y se ejercen básicamente en la piel y los lentes. La dosis absorbida para estimar efectos deterministas se expresa en  $K_{a,r}$  y su unidad de medición es el Gy (3,4,7-9).

A principios de la década de 1990, la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos de Norteamérica (*Food and Drug Administration*, FDA), recibió reportes de daños en la piel inducidos por radiación en pacientes sometidos a diversos procedimientos radiológicos intervencionistas, lo cual hizo que diversas sociedades médicas publicaran documentos referentes al uso de la radiación en forma segura (10-13).

La incidencia de lesiones por efectos deterministas aumenta conforme se incrementa la masa corporal, el tipo y complejidad del procedimiento, la historia de radiación del paciente, la presencia de otras enfermedades (como diabetes

mellitus) y la idiosincrasia individual (14,15). No se conoce la frecuencia con la que puede ocurrir una lesión por radiación grave, pero basado en los reportes de la FDA, ésta se estima entre 1:10,000 y 1:100,000 procedimientos (6). Debe añadirse que los procedimientos prolongados de fluoroscopia con dosis absorbida mayor a 15 Gy en un campo único durante un periodo de 6 a 12 meses, deben reportarse como un evento centinela a *Joint Commission International*, aunque esta dosis debería ser revisada, ya que en ocasiones puede ser necesaria para realizar una intervención que pueda preservar la vida (16).

Durante los procedimientos endovasculares cardiacos pueden llegarse a usar dosis altas de radiación, misma que absorbe la piel de los pacientes, y ya sea por exposición prolongada o repetida (debido a la recurrencia de las lesiones vasculares), puede incluso llevar a necrosis cutánea. En la tabla 3, se muestran los efectos deterministas de una dosis única de radiación aplicada a cuello, torso, pelvis, glúteos o brazos. El grado de daño inducido por radiación es directamente proporcional a la dosis cutánea que el individuo recibe. Acorde a las guías de manejo de dosis de radiación propuesta por la Sociedad de Radiología Intervencionista (SIR) de Estados Unidos de Norteamérica (17), los efectos deterministas pueden clasificarse de acuerdo a bandas. La primera es la Banda A1, cuyo rango de dosis cutánea es de 0 a 2 Gy; a estas dosis no se esperan efectos adversos observables. La segunda es la Banda A2, cuando se expone al paciente a 2 a 5 Gy, en donde se esperaría eritema y depilación transitoria temprana con pronta recuperación. Cuando el individuo se expone a 5 a 10 Gy, se clasificaría en la Banda B, en donde se espera eritema transitorio

y depilación, y aunque habitualmente se recuperan, la depilación puede ser permanente y acompañarse de atrofia dérmica. En caso de recibir una exposición de 10 a 15 Gy, en la Banda C, habrá eritema y depilación tempranas, las cuales pueden progresar a descamación húmeda o seca, eritema prolongado, atrofia e induración dérmica que aparecen en forma tardía. Finalmente, cuando se reciben dosis mayores de 15 Gy, el individuo se clasificaría en la Banda D, en donde pudiera haber eritema temprano, con edema y ulceración agudas, y en forma tardía atrofia, ulceración, descamación e incluso la necesidad de cirugía para tratamiento de las lesiones dérmicas que no cicatrizan (8). La Figura 2 muestra ejemplos de lesiones cutáneas inducidas por radiación.

**Tabla 3.** Efectos deterministas de una dosis única de radiación aplicada a cuello, tórax, abdomen, muslos o glúteos.

Banda	Rango de dosis cutánea aguda, sitio único (Gy)	Grado de Reacción cutánea (National Cancer Institute)	Tiempo aproximado al inicio de los efectos			
			Pronta (<2 semanas)	Temprana (2-8 semanas)	Media (6-52 semanas)	Tardía (>40 semanas)
A1	0-2	N/D	No se esperan efectos observables			
A2	2-5	1	Eritema transitorio.	Depilación.	Recuperación.	No se esperan.
B	5-10	1	Eritema transitorio.	Eritema, depilación.	Recuperación. A dosis altas: eritema prolongado, depilación parcial permanente.	Recuperación. A dosis altas: atrofia dérmica y/o induración.
C	10-15	1-2	Eritema transitorio.	Eritema, depilación. Posible descamación húmeda o seca. Recuperación de la	Eritema prolongado. Depilación permanente.	Telangiectasias. Atrofia dérmica y/o induración. Piel "débil".

				descamación.		
D	>15	3-4	Eritema transitorio. Con dosis muy altas: edema y ulceración aguda; posible cirugía.	Eritema, depilación, descamación húmeda.	Atrofia dérmica. Ulceración secundaria por falta de cicatrización de la descamación. A dosis alta: necrosis dérmica; posible cirugía	Telangiectasias. Atrofia dérmica y/o induración. Posible ruptura cutánea tardía. Herida persistente profunda. Posible cirugía.



**Figura 2.** Lesiones cutáneas inducidas por radiación.

b) Efectos Estocásticos. Se definen como aquellos efectos biológicos que no tienen umbral y pueden ocurrir por el azar en la población general, pero su

probabilidad es proporcional a la dosis y su severidad es independiente de la dosis (3). Los efectos estocásticos se estiman con la métrica de  $P_{KA}$ , cuya unidad de medición es  $Gy \cdot cm^{-2}$ . Los efectos estocásticos son impredecibles y pueden ocurrir, incluso años después de la exposición inicial.

Aunque el riesgo de un individuo por un examen puede ser pequeño, la gran cantidad de procedimientos que se realizan anualmente hacen que la exposición a la radiación derivada de los procedimientos de imagen médica se haya convertido en un problema de salud pública. Berrington de González y cols. estiman que aproximadamente 29,000 futuros cánceres pudieran estar relacionados a las tomografías computadas practicadas en el 2007 en los Estados Unidos (18). Smith-Bindman y cols. estiman que 1 en 270 mujeres y 1 en 600 hombres sujetos a una angiotomografía coronaria a la edad de 40 años desarrollarán cáncer originado por el estudio y el riesgo para sujetos de 20 años de edad se estima que pudiera ser incluso del doble, aunque para aquellos de 60 años sería de la mitad, lo cual refleja el efecto de la longevidad en la posibilidad de desarrollar la neoplasia (19). Aunque no existe un acuerdo uniforme entre los expertos con respecto al grado de riesgo derivado por los procedimientos de imagen médica, es unánime la postura referente a la precaución que debe existir al poner en la balanza el supuesto beneficio de una exposición a la radiación en contra de sus posibles riesgos.

El riesgo estocástico adicional de mortalidad por cáncer en un periodo de 40 años por una dosis efectiva de 1 Sv se estima entre 5 y 11% (20,21). Puede estimarse la dosis efectiva a partir de la dosis absorbida expresada en  $P_{KA}$ , a

través del cociente de  $\text{Gy}\cdot\text{cm}^{-2} / 5.4$ . Esta información se deriva de un estudio en donde compararon la estimación de dosis efectivas por “fantasma”, termoluminiscencia y programas computacionales (22).

Además de las condiciones habituales que incrementan la tasa de radiación absorbida  $K_{a,r}$ , debe tomarse en cuenta que la magnificación incrementa en forma particular el  $P_{KA}$ , lo cual es debido a que los rayos X se concentran en un área mas pequeña. Es decir, la diferencia entre trabajar a una magnificación de 17 cm a 13 cm incrementa 1.1 Gy por cada  $\text{Gy}\cdot\text{cm}^{-2}$  de  $P_{KA}$  (20).

Durante los procedimientos coronarios intervencionistas se utilizan dosis altas de radiación y dado que las estructuras vasculares son pequeñas, tienden a utilizarse magnificaciones. En el estudio de Efstathopoulos en 307 intervenciones coronarias percutáneas, el  $P_{KA}$  promedio fue de  $82 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Se estima que esta dosis se asocia a un riesgo total de desarrollar cáncer fatal en 83 por cada 100,000 individuos sujetos a procedimientos coronarios intervencionistas (22). Es decir, el riesgo de desarrollar cáncer fatal a esa dosis de radiación es de 1 por cada 1204 procedimientos coronarios intervencionistas.

Aunque muchos de los datos de manejo de radiación se basan en secuelas visibles, incluso semanas o meses después del procedimiento, deben también considerarse los efectos estocásticos, dado que la probabilidad de que estos aparezcan aumenta con la dosis total de radiación aplicada al paciente. El principal daño es la posibilidad de inducir cáncer. La probabilidad de desarrollar cáncer inducido por radiación derivado de un procedimiento invasivo es

pequeña comparada con la frecuencia “natural” del cáncer. Por ejemplo, en Estados Unidos, la frecuencia de cáncer fatal es de aproximadamente 21% (23). Utilizando modelos matemáticos no lineales, se estima que el aumento del riesgo de inducir un cáncer fatal por un procedimiento intervencionista es de 0.5% en adultos, asumiendo que su longevidad fuese normal. Es importante incluir el riesgo de efectos estocásticos en poblaciones pediátricas, al sopesar el riesgo y el beneficio de la intervención endovascular particularmente cuando haya dosis altas de radiación o afecte a órganos radiosensibles como tiroides, mamas o tejido gonadal.

## 2.5. Factores que contribuyen a la exposición innecesaria a la radiación.

### 2.5.1. Situaciones relacionadas al uso de los aparatos.

Diversos organismos de salud pública empiezan a evaluar la forma en que los diferentes centros se realizan los exámenes de imagen médica que utilizan radiación ionizante ya que se han observado amplias variaciones en las dosis de radiación asociada a ciertos exámenes. Por ejemplo, evaluando estudios de tomografía practicados en personas adultas en el área de la Bahía de San Francisco, Smith-Bindman y cols. reportaron una variación promedio de 13 veces entre la dosis menor y mayor de radiación entre cada tipo de estudio

evaluado (19). Esta amplia variabilidad en las dosis de radiación sugiere la necesidad de una estandarización en la emisión de los rayos X y mejor control de calidad al efectuar revisiones y mantenimientos de equipos así como del monitoreo apropiado de su uso.

Además, otro factor que influye en el uso inapropiado de la radiación es que algunos médicos no tienen información adecuada ni entendimiento profundo de las dosis de radiación y los procesos de calidad y seguridad radiológica de los procedimientos que realizan. Por ejemplo, mientras que los equipos nuevos de tomografía y fluoroscopia tienen monitores que muestran las métricas de dosis, algunos carecen de éstas y otras medidas de seguridad como programas computarizados para optimizar las dosis de radiación o sistemas de alerta si la radiación excede ciertos límites.

El estudio de Correia, del Hospital Universitario Pulido Valente de Lisboa, Portugal, ejemplifica con claridad esta situación. En una encuesta de opción múltiple, aplicada a 25 cardiólogos pediatras y 75 de adultos, evidenció la falta de conocimientos radiológicos mediante 4 preguntas: 1) contribución de los estudios radiológicos y nucleares a la exposición a radiación de la población (respuesta correcta >10%, contestaron correctamente 11%); 2) riesgo de cáncer fatal asociado a un gammagrama de perfusión miocárdica (respuesta correcta >1:10,000, contestaron correctamente 5%); 3) exposición de una dosis de radiación comparativa contra radiografías de tórax de un gammagrama de perfusión miocárdica (respuesta correcta 500 veces, contestaron correctamente 29%); 4) legislación europea en cuanto a responsabilidad por prescripción o

realización (respuesta correcta “ambas”, contestaron correctamente 42%). Ninguno contestó correctamente las 4 preguntas. La calificación global fue de  $0.85 \pm 0.83$ . Concluyen que médicos que trabajan en un ambiente cardiológico de excelencia, no conocen el impacto ambiental de la radiación, sus riesgos biológicos y la exposición de los estudios que prescriben diariamente (24).

Por motivos como éste, la Comisión Internacional de Protección de la Radiación, en su publicación 85 referente a cómo evitar las lesiones por radiación por procedimientos médicos intervencionistas, cita que “estas técnicas son usadas cada vez con mayor frecuencia por médicos que no están entrenados adecuadamente en seguridad radiológica y radiobiología. Muchos de los intervencionistas no conocen los daños potenciales de estos procedimientos y los métodos sencillos para disminuir su incidencia. A muchos pacientes no se les informa acerca de los riesgos de la radiación y no se les da seguimiento después de dosis altas que a veces son necesarias para resolver casos complejos. En algunos procedimientos intervencionistas, las dosis cutáneas recibidas por los pacientes alcanzan aquellas administradas en las radioterapias de algunos cánceres (25).

Organismos internacionales como el Consejo Nacional de Protección de la Radiación (NCRP) en Estados Unidos o EuroAtom en Europa, han generado normas arbitrarias para las dosis de radiación apropiadas para diversos procedimientos. Estas normas para las dosis de radiación hacia los pacientes se denominan “niveles de referencia diagnóstica” o “valores de referencia de dosis” y corresponden habitualmente a la percentila 75 u 80 de la distribución

de las dosis medidas para un procedimiento de imagen en particular, realizado en los que han denominado “una buena práctica médica”, aunque la definición de este término nunca ha sido clara (2,26-31). Los niveles de referencia diagnóstica, establecidos en 1996 por la Comisión Internacional de Protección Radiológica deben ser el estándar con el cual diversos centros médicos pueden compararse en sus programas de calidad y de acuerdo a la misma Comisión, deben ser definidos por comités médicos locales para aplicarse a cada instalación, hospital, ciudad y país y no pretenden separar una buena y mala práctica de la medicina, sino servir de guías para revisar la calidad de la atención médica (32).

Disminuir el riesgo de los procedimientos de imagen médica en los cuales hay radiación ionizante depende de dos principios básicos de protección: la justificación apropiada para el procedimiento y la optimización cuidadosa de la dosis de radiación utilizada en cada estudio. Cualquier procedimiento debería de realizarse solamente cuando estuviese médicamente justificado y cuando así fuese, el paciente debe exponerse a la dosis óptima de radiación, es decir, ni mayor ni menor a la necesaria para una imagen de alta calidad diagnóstica. En otras palabras, cada paciente deberá de recibir el examen de imagen apropiado, en el momento apropiado y con la dosis de radiación apropiada.

Varios grupos en Estados Unidos como el Colegio Americano de Radiología (ACR), la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM) y el Consejo Nacional de Medición y Protección de la Radiación (NCRP) junto con la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) han trabajado para

establecer niveles de referencia diagnóstica para los procedimientos de imagen médica para todo Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo no se han estandarizado algunas características de los equipos que pudieran alertar a los técnicos y médicos que interpretan estudios en el momento en que se exceden los niveles de referencia diagnóstica o las dosis máximas a la piel para evitar lesiones cutáneas inducidas por radiación (9). Además, hay muchos procedimientos de imagen médica, particularmente pediátricos, en los cuales los niveles de referencia diagnóstica no se han establecido. Sin ellos, es muy difícil para el médico saber si las dosis de radiación utilizadas en un estudio en particular entran dentro de un rango razonable.

Otro de los problemas es que aún cuando los mecanismos de seguridad estén instalados, los usuarios pueden no haber recibido el entrenamiento apropiado con respecto al uso de los equipos y la importancia de optimizar las dosis de radiación. Además, algunos centros de imagen diagnóstica no llevan políticas de control de calidad como la evaluación en forma regular de sus protocolos y el mantenimiento adecuado de los equipos.

#### 2.5.2. Situaciones relacionadas al proceso de decisión clínica.

El médico no tiene acceso o carece por completo de información acerca de la historia de exposición a la radiación que ha tenido un paciente y en parte por ello, se solicitan estudios redundantes o repetidos. Además, frecuentemente se carece de un informe estructurado acerca de la radiación a la que el paciente ha sido sometido, pese a que los nuevos aparatos de tomografía y fluoroscopia

usados en procedimientos intervencionistas permiten obtener parte de esta información; en la actualidad, no se generan reportes de radiación en los expedientes que estén al alcance del médico tratante. Si el médico tuviese un reporte de las dosis de radiación a las cuales ha sido sometido su paciente en procedimientos de imagen médicos realizados con antelación, dicha información pudiera influir en la decisión del tipo de examen a elegir, por ejemplo escoger un ecocardiograma con reto de ejercicio en lugar de una gammagrafía cardiaca de perfusión o una angiotomografía coronaria.

En algunos casos, los médicos carecen de la información o de los criterios recomendados para guiar sus decisiones referentes a la eficacia de algún estudio de imagen en particular. Como resultado, el médico puede ordenar estudios de imagen sin justificación suficiente, exponiendo al paciente a radiación innecesaria; un ejemplo de esto es la tomografía computada para evaluar la calificación de calcio coronario o la colonoscopia virtual en evaluaciones médicas periódicas anuales. Organismos como el Colegio Americano de Cardiología, la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Asiática de Imagen Cardiovascular, han trabajado en desarrollar “criterios para uso apropiado” de diferentes procedimientos diagnósticos y terapéuticos, aunque éstos no están completos y tampoco han penetrado adecuadamente en la comunidad cardiológica (33-36).

Queda claro pues que existe una preocupación justificada con respecto a la cantidad de radiación que reciben los pacientes durante un procedimiento endovascular intervencionista, pero no debemos de olvidar que éstos se

realizan para generar un bienestar en el mismo y para ello deberá aceptarse que el sujeto reciba una cantidad razonable de radiación ionizante. Los procedimientos intervencionistas difieren de los diagnósticos en que los primeros generan un beneficio directo e inmediato derivado de la intervención, lo cual inclina la balanza riesgo: beneficio a favor de la intervención y justifica el riesgo del uso de la radiación ionizante. Lo trascendente es: ¿cuánto es razonable?, ¿cómo definimos el riesgo?, ¿cómo nos comparamos contra la literatura mundial?, ¿cómo podemos reducir la cantidad de radiación emitida?

El día 9 de febrero de 2010, la FDA publicó e hizo circular entre los miembros de las comunidades cardiológicas internacionales, un documento denominado Iniciativa para Reducir la Exposición Innecesaria a la Radiación proveniente de Imagen Médica (6), en donde pretenden usar en forma juiciosa su autoridad regulatoria para colaborar con los profesionales de la salud en su comunidad. En esta iniciativa se pretende tomar 3 acciones:

1. Promover el uso seguro de los dispositivos de imagen médica.
2. Promover el proceso de decisiones clínicas informadas.
3. Concientizar a los pacientes con respecto al uso juicioso de la radiación médica.

En el mismo tenor, en Octubre de 2011, La Secretaría de Energía de los Estados Unidos Mexicanos publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-031-NUCL-2011, Requisitos para el entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, en donde se hace énfasis al trabajo teórico y

práctico y los conocimientos que deben tener esos individuos, para disminuir los riesgos sanitarios al personal médico y a los pacientes (37).

Como podemos observar, esta por empezar una cruzada en contra del uso inapropiado de la radiación ionizante en la imagenología médica, y con ello toma gran importancia desarrollar esquemas y tácticas para optimizar el uso de los rayos X en favor de los pacientes y al mismo tiempo, para prevenir batallas médico-legales que pudieran aparecer en el futuro.

El conflicto que existe cuando se usa radiación para imagen médica es lograr un balance entre la cantidad radiación que se emite y la calidad de la imagen. Es claro en el ámbito de la radiología el concepto derivado de la literatura sajona bajo las siglas ALARA (del inglés *as low as reasonably achievable*, en castellano, tan bajo como razonablemente se pueda obtener); es decir, debemos obtener una imagen de muy buena calidad con la menor cantidad de radiación emitida. La mayoría de los equipos con que laboramos en la actualidad nos permiten lograrlo, sin embargo su uso no está diseminado entre la comunidad médica y por ello es indispensable difundir esta información para realizar práctica segura del intervencionismo radiológico, se requiere :

- Minimizar el tiempo de fluoroscopia
- Minimizar el número de imágenes fluorográficas
- Utilizar tecnología de reducción de dosis de rayos X
- Utilizar apropiadamente la colimación
- Planear la intervención

## 2.6. Motivación para esta investigación.

### 2.6.1. Información previa.

En 2003, Kuon recopiló información acerca de 10 estudios en los cuales se registraron métricas de la radiación durante procedimientos diagnósticos y terapéuticos en laboratorios de hemodinámica. El  $P_{KA}$  en angiografía coronaria fue de  $61.7 \pm 25 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^{-2}$ , en angioplastía coronaria  $87.8 \pm 35 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^{-2}$ , en el procedimiento combinado de angiografía y angioplastía en el mismo momento fue de  $118.8 \pm 65 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^{-2}$ , y en aterectomía rotacional  $119.4 \pm 67 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^{-2}$  (20).

La tabla 4 muestra las métricas de radiación en diversos procedimientos coronarios intervencionistas en un hospital de la localidad, en el año 2009. Las cifras de radiación absorbida son 4 veces superiores al promedio de los 10 estudios previos reportados por Kuon. De estos datos se deriva que los pacientes recibieron una dosis equivalente promedio de 76 mSv durante las angioplastías y de 36 mSv para las angiografías coronarias diagnósticas, si recordamos que la dosis equivalente puede estimarse del  $P_{KA} / 5.4$  (22). Debe enfatizarse que la dosis máxima considerada como riesgo sanitario para el personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante es de 50 mSv en un año o 100 mSv en 5 años consecutivos. Del análisis de estos datos también se infiere que el concepto de la percentila 75 como la dosis de referencia o nivel de referencia, al menos en este laboratorio, es completamente equivocado, ya que

su uso expondría a los pacientes a cifras muy altas de radiación, basadas en la forma en que se practica en ese laboratorio específico.

**Tabla 4.** Métricas de radiación en un hospital de la localidad en el año 2009.

	Mínima	Media	Máxima	Percentila 75
<b>Angioplastía + stent</b>				
$K_{a,r}$ (Gy)	0.2	15.9	5.76	7.58
$P_{KA}$ (Gy•cm <sup>-2</sup> )	28	1116	379	483
<b>Angiografía coronaria</b>				
$K_{a,r}$ (Gy)	0.05	22.1	243	270
$P_{KA}$ (Gy•cm <sup>-2</sup> )	5.7	923	183	237

Tratando de evitar altas dosis de radiación inadvertidas por el cardiólogo que realiza el procedimiento, la Sociedad de Radiología Intervencionista, en Estados Unidos, ha propuesto umbrales de radiación para la notificación al médico tratante. La primera notificación se realiza cuando la dosis acumulada es de 3 Gy o bien el PKA de 300 Gy•cm<sup>-2</sup>, y las notificaciones subsiguientes con cada Gy de dosis acumulada o 100 Gy•cm<sup>-2</sup> de  $P_{KA}$  (17). Esta situación, para mí, también carece de fundamento, ya que no hay efectos tóxicos observables cuando el  $K_{a,r}$  es decir, la dosis acumulada, es menor de 2 Gy.

Existe muy poca información en la literatura referente al resultado de la educación de los médicos con respecto a los efectos nocivos de la radiación y cómo prevenirlos. Georges y cols, lograron disminuir la radiación 50% durante los procedimientos intervencionistas coronarios después de un entrenamiento de 2 días a su grupo de cardiólogos. El efecto fue máximo inmediatamente después del procedimiento y se disipó después de 3 meses. En este estudio, los 6 cardiólogos que trabajaban en el laboratorio atendieron al curso (38). El estudio es longitudinal y comparativo, pero no tiene un grupo control, lo cual hubiera sido deseable, especialmente si no hubiesen recibido el entrenamiento, para poder evaluar apropiadamente el efecto mismo del adiestramiento.

#### 2.6.2. Originalidad.

A diferencia de los estudios previamente publicados, en este ensayo clínico se realiza una propuesta proactiva en donde se le brinda información al médico intervencionista acerca de las dosis de radiación que han recibido sus pacientes. Durante el proceso informativo se le expone la comparación de la magnitud de radiación emitida por él y se le compara con los estándares internacionales. En el segundo periodo del estudio, se modifican los parámetros de emisión de la radiación y se le brinda al médico una retroalimentación instantánea de la cantidad de radiación que su paciente ha recibido durante un estudio en particular mediante un sistema sencillo consistente en un “semáforo de radiación” que le permite al médico tomar sus decisiones acerca de el uso de más radiación o bien, decidir diferir la terminación del procedimiento. Este estudio experimental es completamente original, ya que la intervención es sobre

la conducta de los médicos, misma que se espera modificar mediante la educación y la retroalimentación instantánea de su desempeño.

### 2.6.3. Justificación.

Dada la creciente complejidad de los procedimientos intervencionistas endovasculares que se realizan en la actualidad y los llamados urgentes de agencias regulatorias nacionales e internacionales a disminuir las dosis de radiación que reciben los pacientes y a su vez la necesidad de lograr procedimientos de revascularización más completos, se vuelve trascendente, necesario y posiblemente indispensable desarrollar técnicas para reducción de la exposición a la radiación así como medir el desempeño de los médicos que utilizan los rayos X como parte de su trabajo diario. Esto es una justificación importante y valiosa para un estudio como el descrito en este manuscrito.

## **CAPITULO III**

### **HIPOTESIS**

### 3.1. Hipótesis nula.

La instrucción al cardiólogo intervencionista referente a los efectos biológicos de la radiación y las técnicas para reducir la exposición a la radiación ionizante, no disminuye las métricas de radiación emitida a los pacientes sometidos a procedimientos de angiografía coronaria con implantación de stents.

### 3.2. Hipótesis alterna.

La instrucción al cardiólogo intervencionista referente a los efectos biológicos de la radiación y las técnicas para reducir la exposición a la radiación ionizante, disminuye las métricas de radiación emitida a los pacientes sometidos a procedimientos de angiografía coronaria con implantación de stents.

## **CAPITULO IV**

### **OBJETIVOS**

#### 4.1 Objetivo general.

Evaluar si la capacitación al cardiólogo intervencionista referente al uso óptimo de los equipos que emiten radiación ionizante para imagen médica, modifica la cantidad de radiación que recibe el paciente durante estos procedimientos.

#### 4.2. Objetivos específicos.

Evaluar:

1) Kerma aire en el sitio de referencia ( $K_{a,r}$ ), antes y después de la capacitación.

2) Producto kerma aire por el área ( $P_{KA}$ ), antes y después de la capacitación.

3) Diferencias en estas métricas entre los cardiólogos intervencionistas que asistan o no al curso de capacitación.

## **CAPITULO V**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

## 5.1. Recursos Humanos.

### 5.1.1. Pacientes.

5.1.1.1. Criterios de inclusión: se incluirán en forma progresiva y consecutiva, a todos los pacientes que sean sometidos a procedimientos de angiografía coronaria con implantación de stents en la institución, durante el periodo del estudio antes y después de las sesiones de inducción a la metodología descrita más adelante para la reducción de la emisión de radiación.

5.1.1.2. Criterios de exclusión: ninguno; el estudio pretende evaluar al universo de pacientes, por lo que no se contemplan exclusiones.

5.1.1.3. Criterios de eliminación: aquellos casos en los cuales exista una omisión involuntaria del registro de los datos de radiación serán eliminados del análisis.

5.1.1.4. Procedencia de los pacientes: los sujetos serán reclutados de la consulta de los médicos participantes, así como los referidos por el Departamento de Emergencias, que sean llevados al Departamento de Hemodinámica e Intervención Endovascular, para un procedimiento.

### 5.1.2. Personal Médico.

El Dr. José Ramón Azpiri López será el investigador principal responsable del estudio. Los médicos que realicen 3 o más intervenciones en el periodo de estudio, serán invitados a participar en el mismo. Por motivos de privacidad de los médicos y de los pacientes, serán únicamente identificados por un número. El personal técnico del Departamento de Rayos X registrará los datos de las

métricas obtenidas.

## 5.2. Recursos Biológicos.

El presente estudio no requiere de recursos biológicos.

## 5.3. Recursos Materiales.

5.3.1. Salas angiográficas. Los estudios de intervención endovascular fueron realizados con dos angiógrafos digitales modelo Innova 3100 (General Electric, Milwaukee, Wisconsin). Estas salas cuentan con un foto diodo de silicón amorfo, con detector de panel plano de 512 x 512 pixeles, con campo de imagen de 4 dimensiones (30 x 30, 20 x 20, 16 x 16 y 12 x 12 cm), capacidad de fluoroscopia pulsada a 7.5, 15 y 30 imágenes por segundo (ips), grabación digital a 15 y 30 ips, detalle de fluoroscopia "normal" y "bajo", almacenamiento de la última corrida de fluoroscopia, control de exposición automática (para kV y mA) y cámara plana ionizante que mide  $P_{KA}$  montada frente al colimador (Diamentor M4 KDK, PTW Freiburg GmmH, Alemania).

5.3.2. Semáforo de radiación. Se construyeron semáforos de radiación que se controlan en forma manual desde la sala de mando, por el técnico de rayos X. Estos encienden con la luz color verde cuando se han emitido 0 a 2 Gy de  $K_{a,r}$ , cambia a luz amarilla cuando se emitieron 2 a 5 Gy para pasar a color rojo cuando la dosis acumulada de  $K_{a,r}$  fuese superior a los 5 Gy. Funciona como retroalimentación sencilla de ayuda al médico para administrar la radiación durante los procedimientos (Figura 3).



>5 Gy

2-5 Gy

0-2 Gy



**Figura 3.** Semáforo de radiación.

#### 5.4. Recursos Financieros.

Dado que la mayoría de los datos que se requieren para llevar a cabo esta investigación, provienen directamente de información que se obtiene del propio aparato de rayos X, el costo del estudio por materiales, se dirige en forma casi íntegra a la fabricación del semáforo de radiación, mismo que tuvo un costo de

\$4,500.00 (cuatro mil quinientos pesos, 00/100 MN). La erogación para material bibliográfico adquirido en línea por Internet asciende a \$1,200.00 (un mil doscientos pesos, 00/100 MN), para la compra del Reporte 160 de la NCRP. El programa de cómputo End-Note X3 para recopilación y edición de la bibliografía tuvo un costo de \$1,800 (un mil ochocientos pesos, 00/100 MN) y también fue adquirido en línea. El costo de los dos semáforos de radiación fue cubierto por la administración del hospital y el de los artículos de internet por el autor.

#### 5.5. Recursos Metodológicos.

5.5.1. Diseño: Estudio experimental, longitudinal, prospectivo, controlado.

5.5.2. Detalles del procedimiento.

5.5.2.1. Intervención: el presente estudio pretende demostrar que la educación del médico impacta directamente en la dosis de radiación que reciba el paciente. Para ello se impartió un taller de capacitación al que se invitaron a todos los cardiólogos intervencionistas que realizan procedimientos de angiografía coronaria y angioplastía con implantación de stents en la institución. En el taller se enfatizó en los siguientes puntos: (1) Radiobiología y los efectos biológicos de la radiación (2) Presentación de las métricas individuales de cada médico referentes a la radiación a la que han sido sometidos sus pacientes, así como la comparación de sus datos con los estándares internacionales; (3) Modificar el número de imágenes por segundo (ips) en fluoroscopia y grabaciones de 30 y 30 ips a 7.5 y 15 respectivamente; (4) Disminuir el número de grabaciones digitales, lo que anteriormente se llamaba “corridas de cine”, para utilizar preferiblemente y cuando sea posible la tecnología de

almacenamiento de fluoroscopia que permite grabar el último periodo inmediato previo de la fluoroscopia, disminuyendo así la radiación emitida por adquisiciones a 15 ips; (5) Usar magnificaciones mínimas, para disminuir el  $P_{KA}$  absorbido por el paciente, al mantener más amplio el campo en el que recibe la radiación; (6) Disminuir la duración de cada grabación a la manera de lo posible, (7) Utilización de colimadores para disminuir la radiación dispersa; (8) Evitar al máximo proyecciones anguladas, las cuales se asocian a mayor emisión de radiación; (9) Evitar grabaciones innecesarias, como el paso de dispositivos de ultrasonido intracoronario o inflaciones de los balones y (10) Explicación de las métricas de radiación que se presentan en el monitor angiográfico y (11) Explicación del uso del semáforo de radiación.

5.5.2.2. Protocolo: El estudio se llevó a cabo en dos periodos de 6 meses, en donde se obtuvieron las métricas de la radiación. A los 6 meses de iniciado, se realizó el taller de capacitación y conferencia del uso seguro de la radiación, como se describió previamente. Posteriormente, en el segundo semestre del estudio, se adquirieron las mismas métricas que en el periodo inicial.

5.5.2.3. Variables: una vez concluido cada procedimiento de angiografía coronaria con angioplastia e implantación de stents, el técnico de rayos X registró en una hoja de cálculo de Excel: (1) La identificación del paciente; (2) Identificación del médico que realizó el procedimiento; (3) Radiación absorbida como  $K_{a,r}$ , en Gy, variable numérica continua, y (4) Radiación absorbida como  $P_{KA}$ , en  $Gy \cdot cm^{-2}$ , variable numérica continua.

5.5.2.4. Evaluación de diferencias entre salas: dado que la asignación para el uso de alguna de las dos salas no es aleatorio, para evaluar posibles

diferencias en la emisión de radiación entre los dos equipos angiográficos que se utilizarán, se realizará una prueba de fluencia, esto es, la tasa de radiación absorbida por unidad de tiempo en el sitio de referencia de intervención. La fluencia se expresa en  $\text{mGy}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Esta prueba se realizó después de 5 segundos de fluoroscopia pulsada a 7.5 y 15 ips con detalle normal y bajo, a una altura del tubo de rayos X de 90 cm y un campo de 20 cm, en una muestra de 10 voluntarios, lo cual resulto en 40 observaciones pareadas.

### 5.5.3. Análisis estadístico.

5.5.3.1. Estadística descriptiva: dado que las variables de estudio descritas en el apartado previo son escalares continuas, son presentadas con la medida de tendencia central de media aritmética y su dispersión mediante desviación estándar, o error estándar. La distribución normal se estudiará mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.. Las frecuencias se expresan en forma porcentual.

5.5.3.2. Comparación de variables: las variables de estudio en los dos periodos, antes y después de la intervención educacional, fueron comparadas mediante las pruebas pertinentes. Cuando la distribución fue normal en ambas fases del estudio, la comparación de las variables se realizó mediante la prueba de t-Student no pareada. Cuando la distribución no resultó normal, se evaluaron las posibles diferencias mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney-Wilcoxon. Las frecuencias porcentuales comparativas de los periodos previo y posterior a la intervención educacional se contrastaron mediante la prueba de Chi cuadrada. Las diferencias se consideraron significativas cuando  $P \leq .05$ .

5.5.3.3. Poder del estudio: Asumiendo una reducción en  $K_{a,r}$  de 40%, de 5 Gy a 3 Gy con una desviación estándar de 3 Gy, un valor alfa de .01 y 100 pacientes en cada grupo, el estudio tiene un poder de .98 para detectar diferencias significativas. Estos cálculos fueron realizados con los paquetes estadísticos Medcalc y GB Stat.

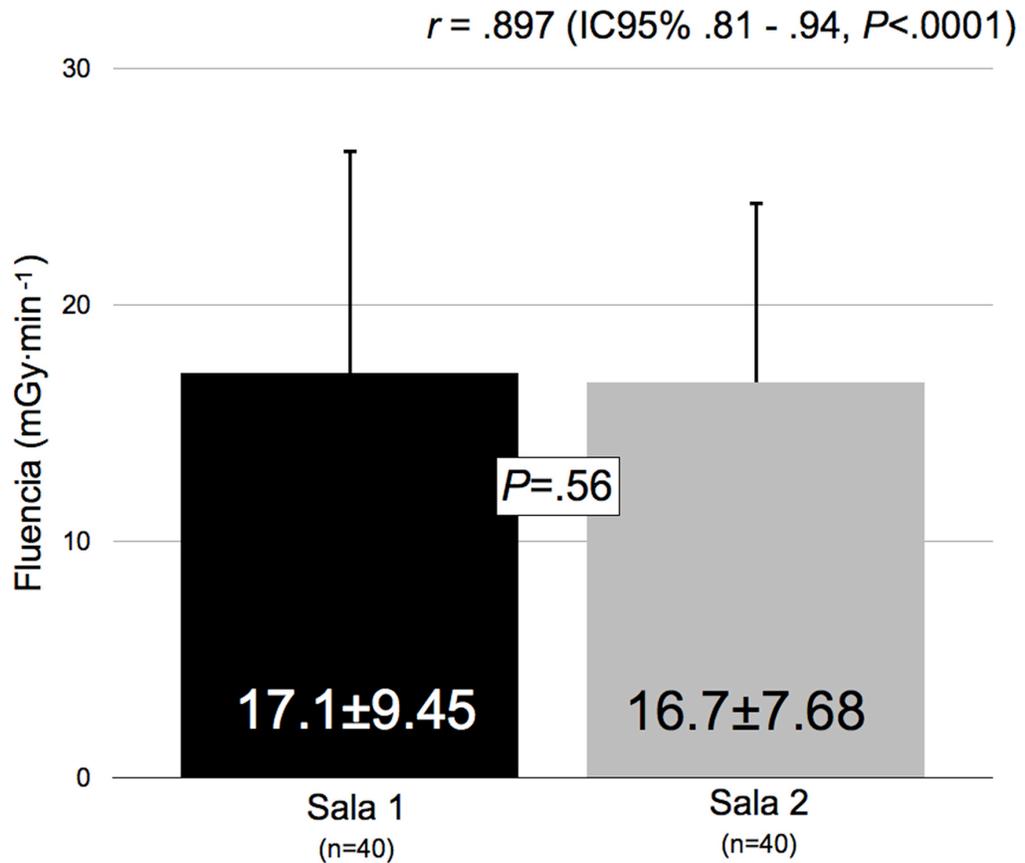
## **CAPITULO VI**

### **RESULTADOS**

De Septiembre de 2009 a Agosto de 2012, se realizaron un total de 218 angiografías coronarias con angioplastia e implantación de stent durante el mismo procedimiento. Se trataron una o dos lesiones en el 53.9% y 26.6% de los casos, respectivamente. El promedio de stents implantados por paciente fue de  $1.91 \pm .09$ . La vía de abordaje fue femoral en el 82.5% y se utilizó ultrasonido intracoronario en el 33.5% de los casos. Se trató un solo vaso en el 68% de los casos y dos vasos en el 24.8%. En 16% se trataron bifurcaciones y en 5.8% oclusiones crónicas totales.

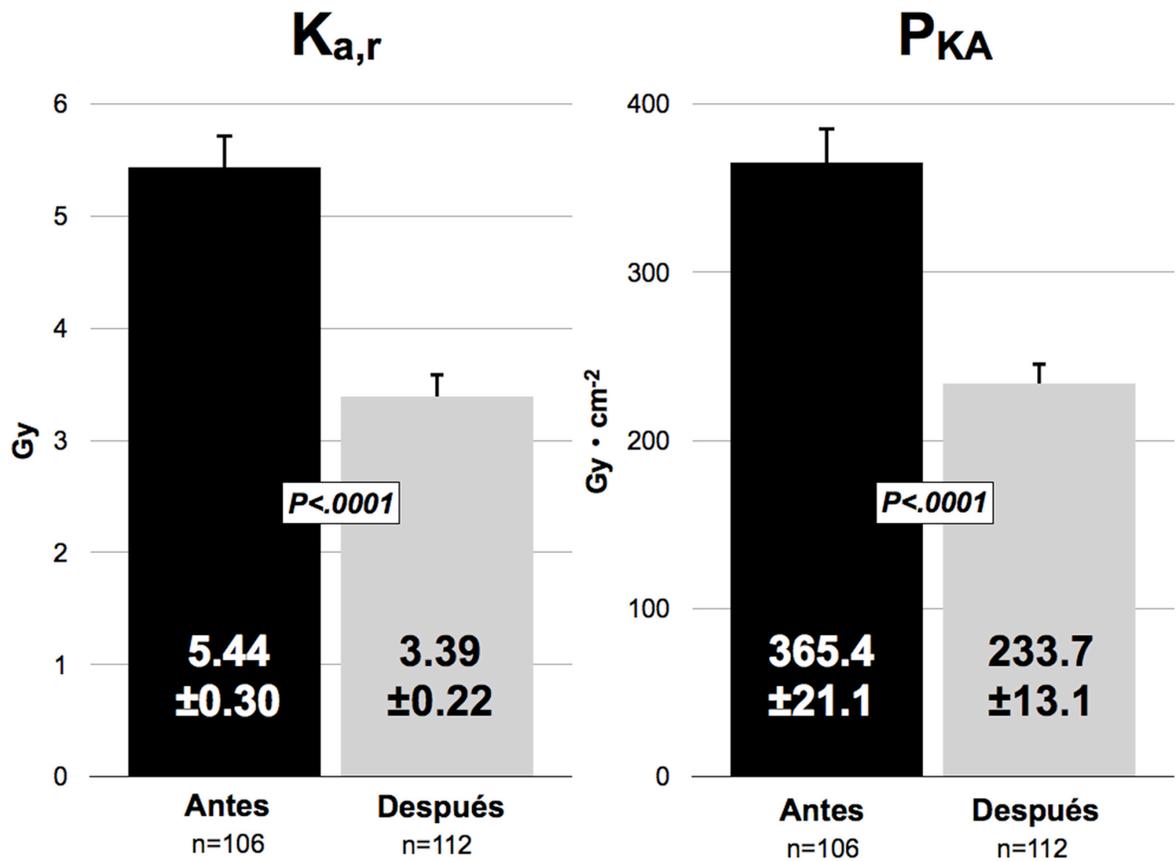
Dentro de las complicaciones, ocurrieron 2 muertes, 3 episodios de “no reflujo”, 4 perforaciones autolimitadas. No hubo infartos con elevación del ST ni cirugías de revascularización miocárdica de emergencia.

La figura 4 muestra los resultados de la comparación de la fluencia entre ambas salas de angiografía, para evaluar si su emisión de rayos X es similar. El estudio se realizó después de 5 segundos de fluoroscopia pulsada a 7.5 y 15 ips en detalle normal y bajo en 10 voluntarios, 6 hombres y 4 mujeres, con edad promedio de  $32.9 \pm 10.2$  años, peso  $66.8 \pm 10.2$  K, estatura  $1.66 \pm 0.1$  m e índice de masa corporal de  $24.0 \pm 2.4$  K/m<sup>2</sup>. Todos fueron evaluados en ambas salas de angiografía con una altura del tubo de 90 cm y un campo de rayos X de 20 cm. Esto generó 40 observaciones pareadas. No hubo diferencia en la fluencia entre ambas salas  $17.1 \pm 9.45$  vs  $16.7 \pm 7.68$  mGy·min<sup>-1</sup> ( $P = .56$ ),  $r = .897$  (95%CI .81 - .94,  $p < .0001$ ).



**Figura 4.** Fluencia en ambas salas de angiografía.

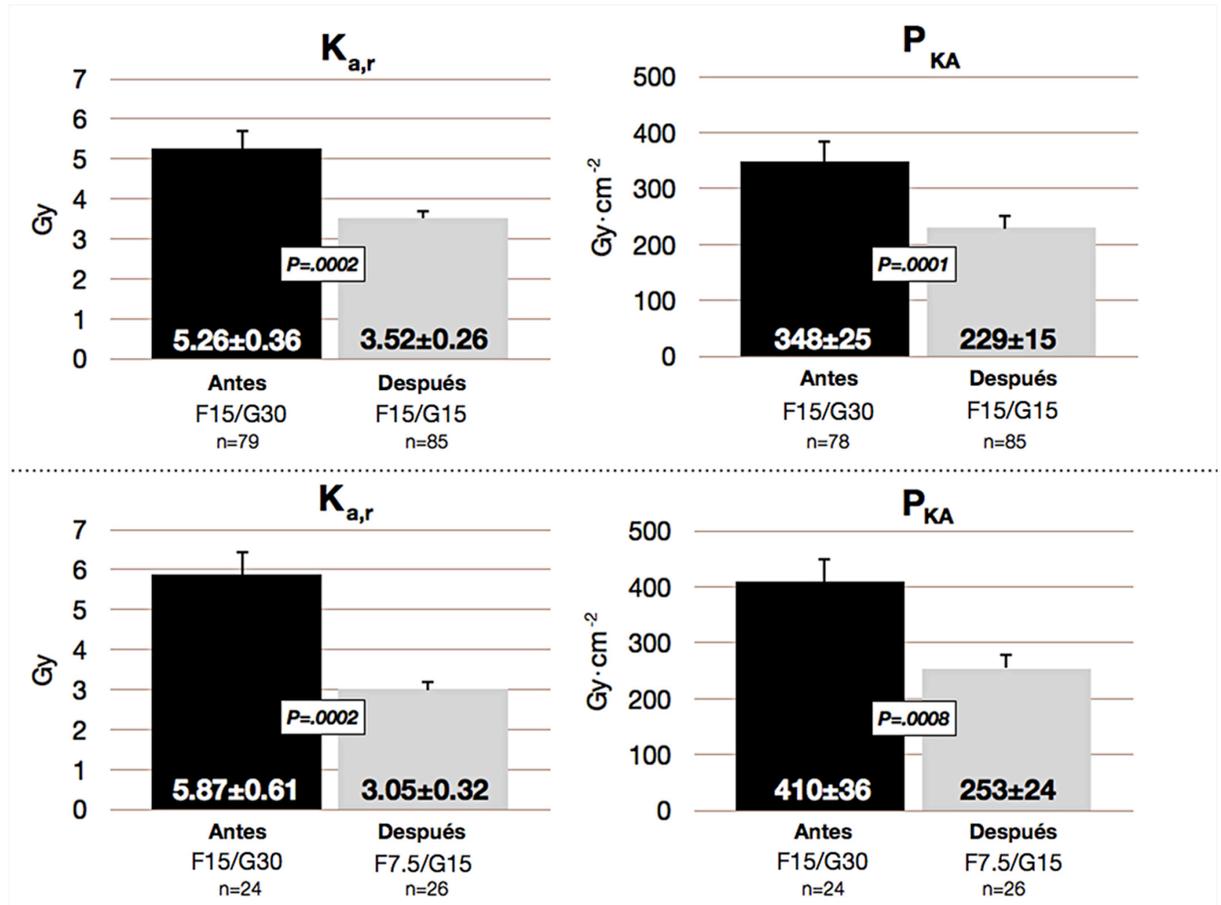
La Figura 5 muestra los resultados principales del estudio. Con las medidas adoptadas, hubo una reducción de 38% en el  $K_{a,r}$  de  $5.44 \pm 0.30$  Gy a  $3.39 \pm 0.22$  Gy,  $P < .0001$ . El  $P_{KA}$  se redujo en forma significativa de  $365.4 \pm 21.1$  a  $233.7 \pm 13.1$  Gy·cm<sup>-2</sup>,  $P < .0001$ , que representa una reducción de 36%.



**Figura 5.** Kerma aire en el sitio de referencia ( $K_{a,r}$ ) y producto kerma área ( $P_{KA}$ ), comparando dos periodos de 6 meses, antes y después del entrenamiento en protección radiológica. Los resultados de expresan como media aritmética  $\pm$  error estándar.

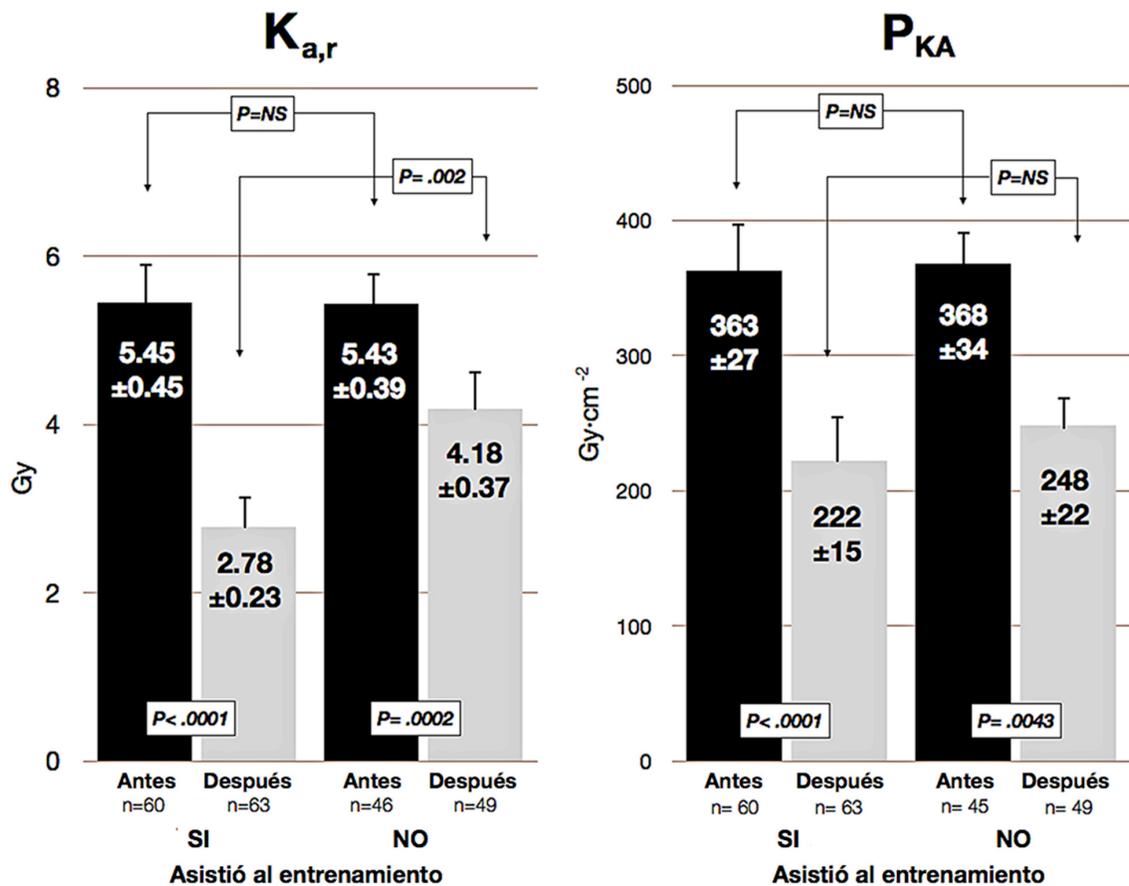
No todos los médicos aceptaron disminuir la tasa de ips de la fluoroscopia pulsada, argumentando que la calidad de la imagen era insuficiente para una estructura en movimiento, pero redujeron tanto la tasa de fluoroscopia como la grabación a 15 ips. El resto de los cardiólogos intervencionistas disminuyeron la fluoroscopia y grabación a 7.5 y 15 ips respectivamente. En los casos en los que la reducción fue a 15 ips y 15 ips, hubo una disminución significativa de 33% y

34% respectivamente en el  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$ , mientras que en aquellos en que la tasa de fluoroscopia se redujo a 7.5 ips y la grabación a 15 ips, la disminución en  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$  fue de 48% y 38%, respectivamente (Figura 6).



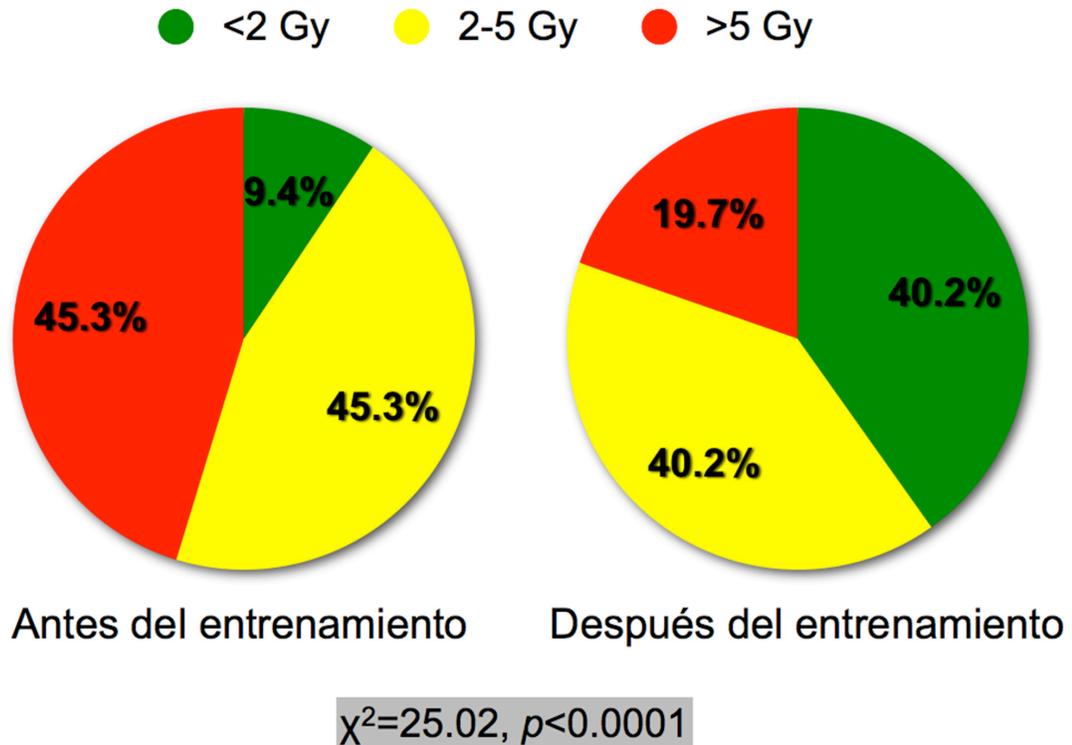
**Figura 6.** Kerma aire en el sitio de referencia ( $K_{a,r}$ ) y producto kerma área ( $P_{KA}$ ), comparando dos periodos de 6 meses, antes y después del entrenamiento en protección radiológica. El panel superior muestra las métricas de radiación cuando se redujo de 15 ips de fluoroscopia y 30 ips de grabación (F15/G30) a 15 ips de fluoroscopia y 15 ips de grabación (F15/G15). El panel inferior muestra los efectos de reducir de F15/G30 a 7.5 ips de fluoroscopia y 15 ips de grabación (F7.5/G15). Los resultados de expresan como media aritmética  $\pm$  error estándar.

Los cardiólogos intervencionistas que asistieron a la conferencia de radiación al final del primer semestre del estudio redujeron significativamente el  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$  el 49% y 39% respectivamente. Aquellos que no asistieron, tuvieron también una reducción significativa en  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$ . Sin embargo, hubo una diferencia estadísticamente significativa de 34% en la reducción de  $K_{a,r}$  durante el segundo periodo del estudio entre los médicos que asistieron en comparación con los que no asistieron (Figura 7).



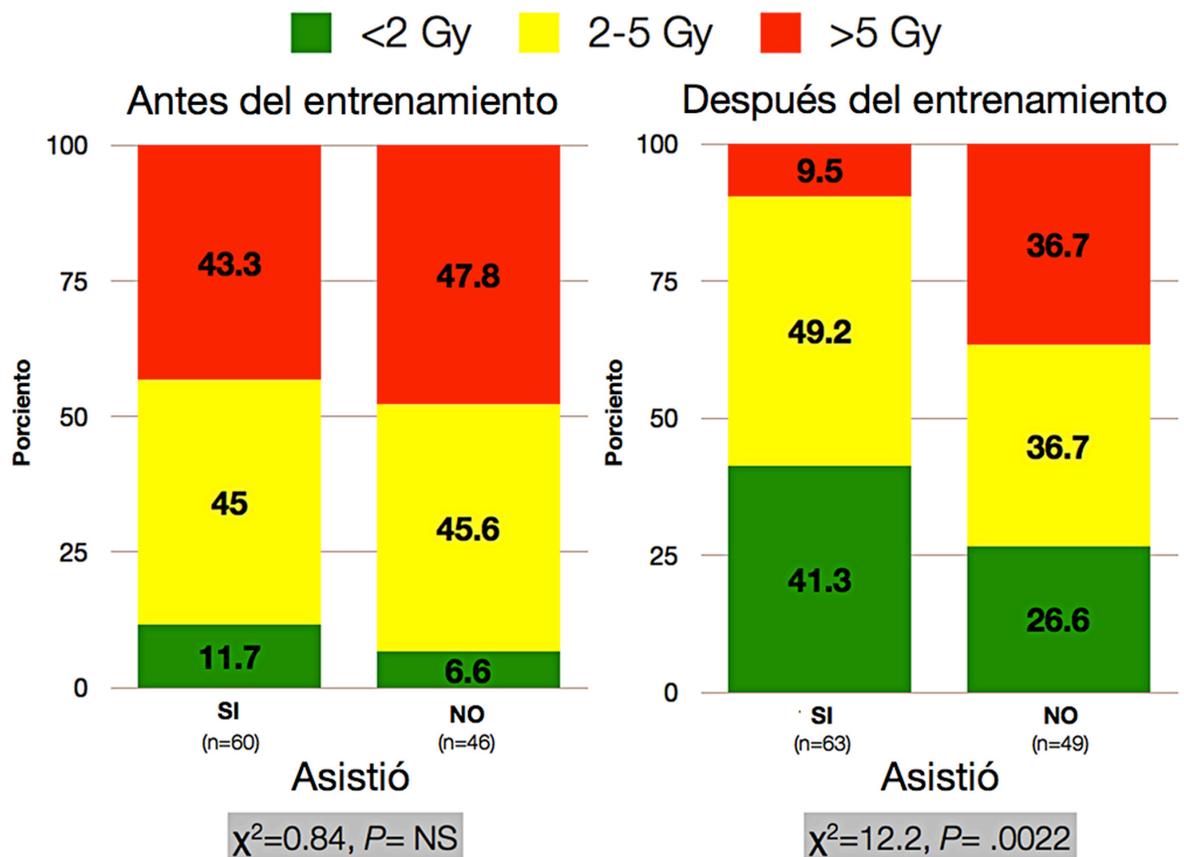
**Figura 7.** Kerma aire en el sitio de referencia ( $K_{a,r}$ ) y producto kerma área ( $P_{KA}$ ), comparando dos periodos de 6 meses, antes y después del entrenamiento en protección radiológica a cardiólogos intervencionistas que asistieron o no a la conferencia. Los resultados de expresan como media aritmética  $\pm$  error estándar.

La Figura 8 muestra la distribución de proporciones de verde ( $K_{a,r} < 2$  Gy), amarillo ( $K_{a,r} 2-5$  Gy) y rojo ( $K_{a,r} > 5$  Gy) de acuerdo al semáforo de radiación, antes y después del entrenamiento. Hubo una disminución significativa de aquellos pacientes que sobrepasaron los 5 Gy de exposición de 45.3% a 19.7%, con el incremento consiguiente de los que no sobrepasaron los 2 Gy de 9.4% a 40.2% ( $\chi^2 = 25.2, P < .0001$ ).



**Figura 8.** Distribución de  $K_{a,r}$  alto, medio y bajo, de acuerdo al semáforo de radiación, antes y después del entrenamiento en protección radiológica.

De acuerdo al semáforo de radiación, no hubo diferencia en la distribución de las proporciones de verde ( $K_{a,r} < 2$  Gy), amarillo ( $K_{a,r} 2-5$  Gy) y rojo ( $K_{a,r} > 5$  Gy) durante el primer semestre del estudio entre todos los cardiólogos antes de el entrenamiento en protección radiológica. Sin embargo, hubo diferencias estadísticamente significativas en la distribución entre los grupos que asistieron y los que no, durante la segunda mitad del estudio ( $\chi^2 = 12.2$ ,  $P = .0022$ ). Estos resultados se muestran en la Figura 9.



**Figura 9.** Distribución de  $K_{a,r}$  bajo, medio o alto administrado a los pacientes, antes y después del entrenamiento a cardiólogos intervencionistas, que asistieron o no a la conferencia de radiobiología y uso óptimo del equipo de rayos X.

## **CAPITULO VII**

### **DISCUSION**

Este estudio muestra que el conocimiento del médico y su interés en reducir la radiación emitida durante las angioplastias con medidas muy sencillas, disminuyen profundamente la radiación que reciben los pacientes, mas allá de la obtenida al disminuir la tasa de fluoroscopia pulsada y de grabación a la mitad.

Los protocolos de protección radiológica son importantes e incluso mandatorios en cada campo clínico. Raff y cols compararon en un ensayo clínico controlado la dosis de radiación emitida hacia los pacientes sometidos a angiotomografía computada de corazón antes y después de optimizar el protocolo de rastreo y mostraron un 53.3% de reducción en la dosis mediana estimada de radiación, sin comprometer la calidad de la imagen (39). Sus hallazgos son consistentes con los aquí descritos ya que ajustes técnicos pequeños pueden impactar profundamente la radiación recibida por el paciente, aunque este es un estudio no invasivo. En mi opinión, hay una necesidad urgente de adoptar políticas de reducción de dosis en todos los países.

En general, los cardiólogos tienen pocos conocimientos con respecto al impacto ambiental de la radiación y sus riesgos biológicos, a pesar de que solicitan tomografías y estudios nucleares con frecuencia. Como ya lo habíamos mencionado, en el estudio de Correia, ninguno de los 100 cardiólogos encuestados contestó correctamente un simple cuestionario de 4 preguntas y la calificación global fue de  $0.85 \pm 0.83$  (24). Los cursos de entrenamiento en protección radiológica fueron efectivos en reducir el  $K_{AP}$  50% en una cohorte evaluada prospectivamente en un periodo de dos años (38). Este estudio difiere del nuestro, dado que nosotros comparamos dos periodos diferentes, antes y

después de realizar cambios en el programa que controla la consola de rayos X, pero también comparamos el impacto de estos cambios cuando fueron realizados por médicos entrenados o no en radiobiología y técnicas para disminuir las dosis. Es interesante observar como una conferencia de dos horas fue tan efectiva. Como lo demostró Georges y cols, con un curso de protección radiológica de dos días, la reducción de la dosis puede persistir por periodos prolongados, pero alcanza su efectividad máxima a los 3 meses y luego comienza a disiparse (38). Esto sugiere que sería importante revisar esta información en intervalos periódicos, quizá cada 6 meses. Como ha sido sugerido previamente, aquellos intervencionistas que exponen a sus pacientes a las dosis mas altas de radiación, son los menos receptivos a las reducciones de las dosis y posiblemente practiquen la medicina en forma negligente (40).

Acciones sencillas disminuyen profundamente la dosis de radiación (Tabla 5). El programa "coronario" que viene de fábrica en la consola de rayos X debe modificarse de 15 ips y 30 ips de fluoroscopia pulsada y grabación a 7.5 ips y 15 ips respectivamente. El uso de 15 ips de fluoroscopia pulsada estuvo asociado a una menor reducción en  $K_{a,r}$  comparado con 7.5 ips en este estudio, pero también fue estadísticamente significativa. Deben evitarse grabaciones innecesarias ya que la dosis de radiación se duplica, comparado con la fluoroscopia. Tales son los casos como las inflaciones de los balones o el posicionamiento del catéter de ultrasonido intravascular o tomografía de coherencia óptica, en donde el uso del programa de almacenamiento de fluoroscopia suele ser suficiente. Aumentar la magnificación incrementa el  $P_{KA}$ , ya que se aplica una cantidad similar de radiación a una área mas pequeña.

Modificar el campo de imagen de 17 cm a 13 cm aumenta 1.1 Gy en  $K_A$  por cada  $100 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^{-2}$  en  $P_{KA}$  (20). Disminuir la duración de cada corrida también reduce la dosis de radiación. También se ha sugerido que evitar angulaciones extremas del tubo de rayos X disminuye la dosis de radiación. Las proyecciones para la coronaria izquierda que emiten menos radiación son la postero-anterior con  $30^\circ$  de angulación craneal o caudal, la oblicua derecha anterior sin angulación o con  $30^\circ$  de angulación craneal. Para la coronaria derecha, se prefiere la oblicua izquierda anterior. Otras proyecciones se asocian a mayor cantidad de radiación en forma significativa (20,41,42).

**Tabla 5.** Puntos clave para disminuir la exposición a radiación.

- 
- Modificar la tasa de fluoroscopia y grabación a 7.5 y 15 ips respectivamente
  - Usar fluoroscopia de detalle bajo
  - Utilizar el modo de almacenamiento de fluoroscopia
  - Evitar al máximo el uso de grabaciones (antes llamado cine)
  - Evitar grabaciones innecesarias (corridas de ultrasonido, inflación de balones)
  - Disminuir el uso de magnificaciones
  - Evitar proyecciones anguladas
  - Evitar grabaciones prolongadas
  - Mantener el receptor de imagen lo mas cercano posible del paciente
  - Usar los colimadores para disminuir la radiación dispersa
  - Vigilar la radiación emitida revisando los datos del monitor o usando el semáforo de radiación
  - Usar proyecciones que se asocian a menor emisión de radiación
-

Los cardiólogos que realizan angioplastias deben tener información inmediata de la cantidad de radiación que han estado usando. Los equipos modernos de rayos X tienen incorporados dosímetros que pueden medir el  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$ . Sin embargo, los resultados que se muestran en el monitor muy rara vez son apreciados y muchos médicos desconocen su significado. Tratando de simplificar el acceso a esa información, instalamos semáforos de radiación en las salas de angiografía. Los niveles que aconsejamos para cambiar de verde a amarillo y de amarillo a rojo fueron elegidos en base a los efectos deterministas conocidos (3,8). En el reporte 168 del Consejo Nacional de Protección de la Radiación de Estados Unidos de América, se sugiere que la primera notificación se haga al llegar a 3 Gy de  $K_{a,r}$  y las notificaciones subsecuentes cada 1 Gy y de  $P_{KA}$  a los  $300 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^{-2}$  y  $100 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^{-2}$ , respectivamente (7).

Es urgente de establecer niveles de referencia diagnóstica (NRD) para los procedimientos de cardiología intervencionista. Esto se complica por la heterogeneidad de los datos, la complejidad de los procedimientos y las diferencias en las características físicas de los pacientes. Los abordajes cambian en los diferentes países y si bien en algunos utilizan los niveles de  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$  que se sabe están asociados a daño radiobiológico, en otros los NRD se basan en el concepto de la percentila 75 (43,44). Este último se radica en el concepto que el NRD debe establecerse en un valor que no se espera exceder en un procedimiento estándar en una práctica normal y no debe establecerse muy alto, de tal manera que nunca sea sobrepasado, recordando el principio de una buena calidad de imagen con la menor radiación posible, el ALARA (*as low as reasonably achievable*). Por esta razón se utiliza la tercera cuartila para

establecer el NRD, asumiendo que el 25% de los procedimientos se pueden beneficiar de la reducción de dosis (30). Nuestra práctica consiste en realizar la mayoría de las angioplastias al momento de la angiografía diagnóstica, aumentando por ello la dosis de radiación. La Agencia Internacional de Energía Atómica reportó un estudio multinacional con 817 angioplastias al momento de la angiografía, mostrando una percentila 75 para  $K_{a,r}$  de 2.7 Gy y  $P_{KA}$  de 138.3  $Gy \cdot cm^{-2}$  y sugirieron niveles de referencia para angiografía coronaria diagnóstica y angioplastia de 50  $Gy \cdot cm^{-2}$  y 125  $Gy \cdot cm^{-2}$ , respectivamente (45). En el programa DIMOND, los niveles de referencia basados en la percentila 75 para  $P_{KA}$  fueron de 94  $Gy \cdot cm^{-2}$  para angioplastia y 57  $Gy \cdot cm^{-2}$  para angiografía coronaria (44). Siguiendo este principio, después de realizar los ajustes a la consola de rayos X y de entrenar a los médicos, nuestra percentila 75 de  $K_{a,r}$  y  $P_{KA}$  sería de 4.63 Gy y 322  $Gy \cdot cm^{-2}$ , bastante por arriba de los sugeridos. Con estos niveles de radiación, es difícil sostener el principio de la percentila 75 como buena práctica, en lugar de fijar una dosis determinada como nivel máximo de radiación permitida. Independientemente del método utilizado, debe buscarse la reducción en la radiación emitida hacia el paciente y compararse las métricas de radiación en forma repetida y frecuente.

Asegurarse de una práctica clínica de buena calidad en cada laboratorio de cateterismo cardiaco es responsabilidad de toda sociedad. La cuantificación y reporte de las dosis de radiación y documentación de los mismos en el expediente clínico es ahora obligatorio en nuestro hospital. Debe planearse correctamente la intervención obteniendo toda la información pertinente, tratando de evitar estudios repetidos en donde haya exposición a la radiación.

También deben buscarse efectos deterministas tardíos y obtener la información apropiada para documentar su incidencia y consecuencias.

*Limitaciones.* El estudio fue realizado en un centro hospitalario único, de bajo volumen y con casos relativamente sencillos. La intervención educativa que se les ofreció a los médicos participantes en el estudio no fue aleatorizada y por tanto posiblemente sesgada, ya que el grupo de médicos que optaron por no asistir, podrían estar menos preocupados por los efectos biológicos de la radiación y por tanto sería menos probable que disminuyeran las dosis en forma agresiva. Como lo hemos mencionado, el entrenamiento en protección radiológica a los cardiólogos intervencionistas está asociado a 50% de reducción en la exposición a la radiación de sus pacientes y por tanto, un estudio aleatorizado no sería ético, de tal forma que este es el mejor nivel de evidencia disponible. Además, la Secretaría de Energía publicó recientemente los requerimientos de entrenamiento del personal sanitario que labora con radiación ionizante, por lo que además la aleatorización sería ilegal (37).

Tampoco distribuimos en forma aleatoria el uso del semáforo de radiación y por lo tanto no podemos evaluar el impacto de esta herramienta en la emisión de radiación. Sería interesante realizar un estudio a futuro utilizando este sencillo método de retroalimentación. Los nuevos equipos de angiografía como el Artis Zee de Siemens AG (Erlangen, Alemania) incorporan ya este accesorio en la pantalla de información del procedimiento.

Aunque no distribuimos en forma aleatoria el uso de las salas de angiografía, estudiamos la fluencia en cada sala y encontramos que no había diferencia en la emisión de radiación en una muestra comparativa de 40

voluntarios. Por lo tanto, es poco probable que exista diferencia en la eficiencia de los rayos X entre las dos salas.

El punto terminal principal de este estudio, la dosis de radiación, no se midió en forma directa por dosimetría cutánea. Sin embargo, Bogaert y cols demostraron buena correlación entre la dosimetría cutánea y las lecturas tomadas del colimador, cuando el  $P_{KA}$  se multiplica por un factor de conversión de 1.03, es decir, una diferencia de 3% (28).

## **CAPITULO VIII**

## **CONCLUSIONES**

La reducción de la tasa de fluoroscopia y grabación de 15 ips y 30 ips a 7.5 y 15 ips respectivamente, se asoció a una reducción en la radiación absorbida por el paciente cercana al 40%.

Estas modificaciones impactaron en forma significativa tanto al grupo de pacientes tratados por médicos que asistieron al entrenamiento como a los que no lo hicieron.

Con las medidas adoptadas hubo una profunda disminución del número de angioplastias que sobrepasaron los 5Gy, de 45% a 20% y esta reducción fue aún mas profunda en aquellos que asistieron al entrenamiento en protección radiológica, de 43.3% a 9.5%.

Aunque hubo una reducción en la radiación emitida tanto en el grupo de procedimientos realizados por intervencionistas que asistieron como los que no asistieron al entrenamiento en protección radiológica, el 34% de diferencia entre ambos fue estadísticamente significativo. Este hallazgo sugiere que no es suficiente con realizar modificaciones en la consola de programación de rayos X, sino que el intervencionista debe estar consciente y ser proactivo para lograr disminuir la radiación, lo cual puede lograrse mediante una instrucción adecuada.

El balance juicioso de entre una buena calidad de imagen y baja emisión de radiación requiere un esfuerzo especial, enfocándose en el uso de tasas bajas de fluoroscopia y grabación, campo de imagen amplio, colimación, corridas cortas, proyecciones apropiadas y retroalimentación inmediata. Para esto, se requiere no sólo de modificaciones en los parámetros computacionales

del equipo de rayos X, sino también conocimiento y compromiso del intervencionista, lo cual puede lograrse mediante una instrucción adecuada.

Por todo lo anteriormente expuesto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la instrucción al cardiólogo intervencionista referente a los efectos biológicos de la radiación y las técnicas para reducir la exposición a la radiación ionizante, disminuye las métricas de radiación emitida a los pacientes sometidos a procedimientos de angiografía coronaria con implantación de stents.

## **CAPITULO IX**

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Zoetelief J DD, Drexler G, Järvinen H, Rosenstein M. . Quantities and units for measurement and calculation in medical x-ray imaging. Journal of the ICRU Report 74 2005;5:25-36.
2. Rosenstein M. Diagnostic reference levels for medical exposure of patients: ICRP guidance and related ICRU quantities. Health Phys 2008;95:528-34.
3. Chambers E, Fatterly K, R. H et al. Radiation Safety Program for the Cardiac Catheterization Laboratory. Cathet Cardiovasc Interv 2011;77:11.
4. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report No. 160. Bethesda, 2009.
5. Mettler FA, Jr., Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. Radiology 2008;248:254-63.
6. FDA. Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging. 2010.
7. NCRP NCoRPaM-. Radiation Dose Management for Fluoroscopy Guided Interventional Medical Procedures, NCRP Report No. 168. Bethesda, Maryland: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2010.
8. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. Radiology 2010;254:326-41.

9. Miller DL, Balter S, Cole PE et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part II: skin dose. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:977-90.
10. Limacher MC, Douglas PS, Germano G et al. ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:892-913.
11. Betsou S, Efstathopoulos EP, Katritsis D, Faulkner K, Panayiotakis G. Patient radiation doses during cardiac catheterization procedures. *Br J Radiol* 1998;71:634-9.
12. Balter S. Radiation safety in the cardiac catheterization laboratory: operational radiation safety. *Catheter Cardiovasc Interv* 1999;47:347-53.
13. Hirshfeld JW, Jr., Balter S, Brinker JA et al. ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:2259-82.
14. Clark AL, Brennan AG, Robertson LJ, McArthur JD. Factors affecting patient radiation exposure during routine coronary angiography in a tertiary referral centre. *Br J Radiol* 2000;73:184-9.
15. Tsapaki V, Magginas A, Vano E et al. Factors that influence radiation dose in percutaneous coronary intervention. *J Interv Cardiol* 2006;19:237-44.

16. The Joint Commission Sentinel Events Policy and Procedures. <http://www.jointcommission.org/SentinelEvents/PolicyandProcedures/>. 2007.
17. Stecker MS, Balter S, Towbin RB et al. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol* 2009;20:S263-73.
18. Berrington de Gonzalez A, Mahesh M, Kim KP et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med* 2009;169:2071-7.
19. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med* 2009;169:2078-86.
20. Kuon E, Glaser C, Dahm JB. Effective techniques for reduction of radiation dosage to patients undergoing invasive cardiac procedures. *Br J Radiol* 2003;76:406-13.
21. Biological aspects of radiological protection. *Annals of the ICRP* 1991;21:11-25.
22. Efsthopoulos EP, Karvouni E, Kottou S et al. Patient dosimetry during coronary interventions: a comprehensive analysis. *Am Heart J* 2004;147:468-75.
23. American Cancer Society. *Cancer Facts & Figures 2006.*, 2006.
24. Correia MJ, Hellies A, Andreassi MG, Ghelarducci B, Picano E. Lack of radiological awareness among physicians working in a tertiary-care cardiological centre. *Int J Cardiol* 2005;103:307-11.
25. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2000;30:7-67.

26. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007;37:1-332.
27. Diagnostic reference levels in medical imaging: review and additional advice. *Ann ICRP* 2001;31:33-52.
28. Bogaert E, Bacher K, Lemmens K et al. A large-scale multicentre study of patient skin doses in interventional cardiology: dose-area product action levels and dose reference levels. *Br J Radiol* 2009;82:303-12.
29. Brnic Z, Krpan T, Faj D et al. Patient radiation doses in the most common interventional cardiology procedures in Croatia: first results. *Radiat Prot Dosimetry* 2010;138:180-6.
30. Mercuri M, Moran GR, Gauthier L, Sheth T, Velianou JL, Natarajan MK. Radiation dose in interventional cardiology procedures: urgent need for monitoring dose and establishing diagnostic reference levels. *Healthc Q* 2008;11:76-83.
31. Stratis AI, Anthopoulos PL, Gavaliatsis IP et al. Patient dose in cardiac radiology. *Hellenic J Cardiol* 2009;50:17-25.
32. Radiological protection and safety in medicine. A report of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 1996;26:1-47.
33. Carbonaro S, Villines TC, Hausleiter J, Devine PJ, Gerber TC, Taylor AJ. International, multidisciplinary update of the 2006 Appropriateness Criteria for cardiac computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009;3:224-32.

34. McCully RB, Pellikka PA, Hodge DO, Araoz PA, Miller TD, Gibbons RJ. Applicability of appropriateness criteria for stress imaging: similarities and differences between stress echocardiography and single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging criteria. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:213-8.
35. Miller JA, Raichlin E, Williamson EE et al. Evaluation of coronary CTA Appropriateness Criteria in an academic medical center. *J Am Coll Radiol* 2010;7:125-31.
36. Tsai IC, Choi BW, Chan C et al. ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac computed tomography: a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging guideline Working Group. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010;26 Suppl 1:1-15.
37. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas. Norma Oficial Mexicana NOM-031-NUCL-2011, Requisitos para el entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. Retrieved Jul 28, 2012, from: [http://www.cnsns.gob.mx/acerca\\_de/marco/otras\\_disp/nom031-nucl-2011.pdf](http://www.cnsns.gob.mx/acerca_de/marco/otras_disp/nom031-nucl-2011.pdf).
38. Georges JL, Livarek B, Gibault-Genty G et al. Reduction of radiation delivered to patients undergoing invasive coronary procedures. Effect of a programme for dose reduction based on radiation-protection training. *Arch Cardiovasc Dis* 2009;102:821-7.
39. Raff GL, Chinnaiyan KM, Share DA et al. Radiation dose from cardiac computed tomography before and after implementation of radiation dose-

- reduction techniques. JAMA : the journal of the American Medical Association 2009;301:2340-8.
40. Mavrikou I, Kottou S, Tsapaki V, Neofotistou V. High patient doses in interventional cardiology due to physicians' negligence: how can they be prevented? Radiat Prot Dosimetry 2008;129:67-70.
  41. Kuon E, Dahm JB, Robinson DM, Empen K, Gunther M, Wucherer W. Radiation-reducing planning of cardiac catheterisation. Z Kardiol 2005;94:663-73.
  42. Kuon E, Empen K, Rohde D, Dahm JB. Radiation exposure to patients undergoing percutaneous coronary interventions: are current reference values too high? Herz 2004;29:208-17.
  43. Neofotistou V. Review of patient dosimetry in cardiology. Radiat Prot Dosimetry 2001;94:177-82.
  44. Neofotistou V, Vano E, Padovani R et al. Preliminary reference levels in interventional cardiology. Eur Radiol 2003;13:2259-63.
  45. IAEA. Establishing guidelines levels in X-ray guided medical interventional procedures: A pilot study, Safety Report Series No. 59. 1 ed. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2009.

## **CAPITULO X**

### **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

El Dr. José Ramón Azpiri es originario y radica en la ciudad de Monterrey, N.L. Cursó la licenciatura de Médico Cirujano y Partero en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Realizó la especialidad de Medicina Interna en el Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de la U.A.N.L. Obtuvo una beca de la misma Universidad para continuar sus estudios de posgrado en la subespecialidad de Cardiología Clínica en The University of Toronto, en Canadá. Posteriormente, mediante un estímulo para investigación, cursó la subespecialidad de Cardiología Intervencionista en la misma University of Toronto. A su regreso a Monterrey, se incorporó la profesorado de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L., en donde ha laborado por más de 20 años como Profesor de Tiempo Completo del Departamento de Medicina Interna, adscrito al Servicio de Cardiología. Ha sido profesor de pregrado y posgrado desde entonces. Ha sido tutor de tesis de especialidad de más de 10 egresados de posgrado de la U.A.N.L. Forma parte del Consejo de Enseñanza del Departamento de Medicina Interna. Es Coordinador de Hemodinámica y Cardiología Intervencionista del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”. Es además CoDirector del Departamento de Estudios Cardiopulmonares y Jefe de Cardiología Clínica e Intervencionismo Endovascular del Hospital Christus Muguerza Alta Especialidad. Está certificado por el Consejo Mexicano de Medicina Interna y por el Consejo Mexicano de Cardiología como Cardiólogo Clínico, Cardiólogo Intervencionista y Ecocardiografista de Adultos.

Forma parte de las siguientes sociedades: Miembro Titular de la Sociedad Mexicana de Cardiología, Miembro Titular de la Sociedad de Cardiología

Intervencionista de México, Fellow of the American College of Cardiology, Fellow of the Society of the Cardiac Angiography and Interventions, Miembro de The Canadian Cardiovascular Society, Miembro de la International Society of Endovascular Specialists, Miembro de The American Society of Echocardiography, Miembro de la Sociedad Latinoamericana de Cardiología Intervencionista, Miembro de la Sociedad Europea de Cardiología Intervencionista.

Su interés principal es en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la cardiopatía isquémica.