



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE MEDICINA

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DELEGACIÓN SUR DEL DISTRITO FEDERAL
UNIDAD MEDICA DE ALTA ESPECIALIDAD
“DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ”
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CMN SIGLO XXI

TITULO:

**“MODULACIÓN DE DOSIS EN TOMOGRAFIA COMPUTADA DE
ENCÉFALO EN PACIENTES CON HIDROCEFALIA”.**
No. De registro F 210-3601-150

**TESIS
QUE PRESENTA
DRA. LUCIA ZATARAIN BAYLISS RESIDENTE DE TERCER AÑO
PARA OBTENER EL DIPLOMA EN LA ESPECIALIDAD DE
RADIOLOGÍA E IMAGEN**

ASESOR ACADÉMICO:

DRA. MIRIAM ZAVALA PEREZ
MÉDICO ADSCRITO AL AREA DE TOMOGRAFIA COMPUTADA, HOSPITAL
DE ESPECIALIDADES “DR. BERNARDO SEPULVEDA”
CMN SIGLO XXI

ASESOR METODOLÓGICO:

DR. JUAN TALAVERA PIÑA
MÉDICO ADSCRITO AL CENTRO DE ADIESTRAMIENTO
E INVESTIGACIÓN CLINICA

MÉXICO, DF. FEBRERO DEL 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



IMSS

REGISTRO NACIONAL DE TESIS DE ESPECIALIDAD

| | | | | | |
|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------|--------|
| Delegación | 3 SURESTE | Unidad de Adscripción | HECMN SIGLO XXI | | |
| Autor | | | | | |
| Apellido Paterno | ZATARAIN | Materno | BAYLISS | Nombre | LUCIA |
| Matricula | 99377356 | Especialidad | RADIOLOGÍA E IMAGEN | | |
| Asesor | | | | | |
| Apellido Paterno | ZAVALA | Materno | PÉREZ | Nombre | MIRIAM |
| Matricula | 8447926 | Especialidad | IMAGENOLOGÍA | | |
| Fecha Grad. | 28 DE FEBRERO 2011 | No. de Registro | F210-3601-150 | | |

Título de la tesis:

“MODULACIÓN DE DOSIS EN TOMOGRAFIA COMPUTADA DE ENCÉFALO EN PACIENTES CON HIDROCEFALIA”.

RESUMEN

ANTECEDENTES: La hidrocefalia es una patología con una alta prevalencia, su seguimiento requiere de una estrecha vigilancia clínica y de imagen. La tomografía computada es el método de imagen de elección en su seguimiento (3). Actualmente los estudios tomográficos contribuyen al 75% de la radiación producida por estudios de imagen, debido a esto se han creado diferentes herramientas que ayudan a disminuir la cantidad de radiación aplicada en los estudios tomográficos manteniendo una calidad de imagen adecuada una de ellas es la función de modulación de dosis.

OBJETIVOS: El objetivo de este trabajo es el de aplicar la función de modulación de dosis en los protocolos de tomografía de encéfalo en pacientes con hidrocefalia derivada para evaluar la cantidad de radiación producida por estudio y calcular de manera retrospectiva la cantidad de dosis que se hubiera producido considerando el número de estudios realizados como máximo en el periodo un año previo al estudio valorado. El segundo objetivo es comparar esa radiación calculada emitida con la calculada sin modulación de dosis.

MATERIAL Y METODOS: El equipo utilizado fue un tomógrafo de 16 cortes Brightspeed de General Electric, con el cual se cuenta en esta institución, empleando la función de modulación de dosis en tomografías de encéfalo en pacientes con hidrocefalia aplicando el protocolo de 3.7mm de intervalo de corte, un kilovoltaje de 120, un rango de miliamperaje de 100 a 150 calculado automáticamente por corte mediante la función de modulación de dosis y un índice señal ruido de 2.8 (1). El análisis estadístico se realizó a través de la prueba T de Student para muestras independientes considerando significativa una $p < 0.05$, comparando la cantidad de radiación producida con protocolos con modulación de dosis y sin modulación de dosis.

RESULTADOS: Se incluyeron un total de 26 pacientes, de los cuales 12 (46%) fueron mujeres y 14 (54%) hombres con una edad promedio de 57 años siendo la mínima de 34 años y la máxima de 79 años. El total de tomografías de encéfalo realizadas por paciente fue en promedio de 8 siendo el mínimo de 2 y el máximo de 30 en el rango de un mes a un año con un tiempo de seguimiento tomográfico en promedio de 149 días. Los valores de radiación promedio empleados por paciente y el cálculo total mensual y hasta de un año con protocolos con y sin modulación de dosis se demuestran en las tablas 1, 2, 3 y 4, la comparación mediante T de Student de dichos valores muestra diferencia significativa entre los mismos con una $P < 0.000001$ observándose importante ahorro de radiación empleada mediante protocolos con modulación de dosis.

CONCLUSIONES: Los protocolos con modulación de dosis mostraron un ahorro significativo en la emisión de radiación comparado con series publicadas (1) sin embargo debido a ciertas diferencias en la programación de protocolos, las cuales de ser alteradas podrían disminuir la calidad en la imagen, aun no hemos logrado alcanzar los valores publicados con modulación de dosis.

Palabras Clave: HIDROCEFALIA, TOMOGRAFIA COMPUTADA DE ENCEFALO, RADIACIÓN, MODULACION DE DOSIS.

Tipo de Investigación _____

Tipo de diseño _____

Tipo de estudio _____

DOCTORA

DIANA G. MENEZ DÍAZ

JEFE DE LA DIVISIÓN DE EDUCACIÓN EN SALUD
UMAE HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CMN SIGLO XXI

DOCTOR

FRANCISCO JOSÉ AVELAR GARNICA

JEFE DE SERVICIO DEL ÁREA DE IMAGENOLOGÍA DIAGNOSTICA Y
TERAPEUTICA
UMAE HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CMN SIGLO XXI

DOCTORA

MIRIAM ZAVALA PEREZ

MÉDICO ADSCRITO AL AREA DE TOMOGRAFIA COMPUTADA, HOSPITAL
DE ESPECIALIDADES "DR. BERNARDO SEPULVEDA"
CMN SIGLO XXI

DOCTOR

JUAN TALAVERA PIÑA

MÉDICO ADSCRITO AL CENTRO DE ADIESTRAMIENTO
E INVESTIGACIÓN CLINICA

DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS
Unidad de Educación, Investigación y Políticas de Salud
Coordinación de Investigación en Salud

Dictamen de Autorizado

COMITÉ LOCAL DE INVESTIGACIÓN EN SALUD 3601
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DR. BERNARDO SEPULVEDA GUTIERREZ, CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO
XXI, 3 SUROESTE DEL D.F.

FECHA 17/02/2011

DR.(A). MIRIAM ZAVALA PÉREZ

P R E S E N T E

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título:

**"MODULACION DE DOSIS EN TOMOGRAFIA COMPUTADA DE ENCEFALO EN
PACIENTES CON HIDROCEFALIA".**

que usted sometió a consideración de este Comité Local de Investigación en Salud, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A U T O R I Z A D O**, con el número de registro institucional:

| |
|-------------------------|
| Núm. de Registro |
| R-2011-3601-18 |

ATENTAMENTE

DR.(A). CARLOS FREDY CUEVAS GARCÍA

Presidente del Comité Local de Investigación en Salud núm 3601

IMSS
SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL

GRACIAS
A TODOS LOS QUE ME AYUDARON A ENTENDER
QUE EL DESTINO LO CREAMOS NOSOTROS
Y ME AYUDAN A FORJARLO DIA A DIA.....

ÍNDICE

| | | |
|-------------|--|-----------|
| I | Resumen | 1 |
| II | Hoja de datos..... | 2 |
| III | Antecedentes..... | 3 |
| IV | Planteamiento del problema..... | 15 |
| V | Justificación..... | 16 |
| VI | Hipótesis..... | 16 |
| VII | Objetivo..... | 17 |
| VIII | Material, pacientes y métodos..... | 18 |
| | • Diseño del estudio..... | 18 |
| | • Universo de trabajo..... | 18 |
| | • Variables..... | 18 |
| | • Selección de la muestra..... | 20 |
| | • Calculo del tamaño de la muestra..... | 20 |
| | • Criterios de selección..... | 21 |
| | ○ Criterios de inclusión..... | 21 |
| | • Metodología..... | 21 |
| IX | Consideraciones éticas..... | 22 |
| X | Recursos para el estudio..... | 22 |
| | • Recursos humanos..... | 22 |
| | • Recursos materiales..... | 22 |
| XI | Cronograma de actividades..... | 23 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| XII | Resultados..... | 23 |
| XIII | Discusión..... | 25 |
| XIV | Anexos..... | 28 |
| XV | Referencias bibliográficas..... | 35 |

I. RESUMEN

La hidrocefalia es una patología con una alta prevalencia, su seguimiento requiere de una estrecha vigilancia clínica y de imagen. La tomografía computada es el método de imagen de elección en su seguimiento (3). Actualmente los estudios tomográficos contribuyen al 75% de la radiación producida por estudios de imagen, debido a esto se han creado diferentes herramientas que ayudan a disminuir la cantidad de radiación aplicada en los estudios tomográficos manteniendo una calidad de imagen adecuada una de ellas es la función de modulación de dosis.

OBJETIVOS: El objetivo de este trabajo es el de aplicar la función de modulación de dosis en los protocolos de tomografía de encéfalo en pacientes con hidrocefalia derivada para evaluar la cantidad de radiación producida por estudio y calcular de manera retrospectiva la cantidad de dosis que se hubiera producido considerando el número de estudios realizados como máximo en el periodo un año previo al estudio valorado. El segundo objetivo es comparar esa radiación calculada emitida con la calculada sin modulación de dosis.

MATERIAL Y METODOS: El equipo utilizado fue un tomógrafo de 16 cortes Brightspeed de General Electric, con el cual se cuenta en esta institución, empleando la función de modulación de dosis en tomografías de encéfalo en pacientes con hidrocefalia aplicando el protocolo de 3.7mm de intervalo de corte, un kilovoltaje de 120, un rango de miliamperaje de 100 a 150 calculado automáticamente por corte mediante la función de modulación de dosis y un índice señal ruido de 2.8 (1). El análisis estadístico se realizó a través de la prueba T de Student para muestras independientes considerando significativa una $p < 0.05$, comparando la cantidad de radiación producida con protocolos con modulación de dosis y sin modulación de dosis.

RESULTADOS: Se incluyeron un total de 26 pacientes, de los cuales 12 (46%) fueron mujeres y 14(54%) hombres con una edad promedio de 57 años siendo la mínima de 34 años y la máxima de 79 años. El total de tomografías de encéfalo realizadas por paciente fue en promedio de 8 siendo el mínimo de 2 y el máximo de 30 en el rango de un mes a un año con un tiempo de seguimiento tomográfico en promedio de 149 días. Los valores de radiación promedio empleados por paciente y el cálculo total mensual y hasta de un año con protocolos con y sin modulación de dosis se demuestra en las tablas 1, 2, 3 y 4, la comparación mediante T de Student de dichos valores muestra diferencia significativa entre los mismos con una $P < 0.0000001$ observándose importante ahorro de radiación empleada mediante protocolos con modulación de dosis.

CONCLUSIONES: Los protocolos con modulación de dosis mostraron un ahorro significativo en la emisión de radiación comparado con series publicadas (1) sin embargo debido a ciertas diferencias en la programación de protocolos, las cuales de ser alteradas podrían disminuir la calidad en la imagen, aun no hemos logrado alcanzar los valores publicados con modulación de dosis.

II. HOJA DE DATOS

| | |
|-------------------------------------|--|
| 1.- DATOS DEL ALUMNO (AUTOR) | |
| APELLIDO PATERNO: | ZATARAIN |
| APELLIDO MATERNO: | BAYLISS |
| NOMBRE: | LUCIA |
| TELEFONO: | 55 14 79 39 59 |
| UNIVERSIDAD: | UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MÉXICO |
| FACULTAD O ESCUELA: | FACULTAD DE MEDICINA |
| CARRERA: | RADIOLOGÍA E IMAGEN |
| NO. DE CUENTA: | 508222034 |
| 2.- DATOS DEL ASESOR | |
| APELLIDO PATERNO: | ZAVALA |
| APELLIDO MATERNO: | PÉREZ |
| NOMBRE: | MIRIAM |
| APELLIDO PATERNO: | TALAVERA |
| APELLIDO MATERNO: | PIÑA |
| NOMBRE: | JUAN |
| 3.- DATOS DE LA TESIS | |
| TÍTULO: | MODULACIÓN DE DOSIS EN TOMOGRAFÍA COMPUTADA DE ENCEFALO EN PACIENTES CON HIDROCEFALIA. |
| NO. DE PÁGINAS: | 36 P. |
| AÑO: | 2011 |

III. ANTECEDENTES

El líquido cefalorraquídeo (LCR) circunda el cerebro y la médula espinal en el espacio subaracnoideo entre la aracnoides y la piamadre, es de color claro y con un pH de 7.33-7.35. Sus principales funciones son de amortiguación y defensa inmunológica.

El 80% del LCR es producido por los plexos coroideos localizados en los ventrículos laterales y el cuarto ventrículo, el resto es producido entre el espacio intersticial, el epéndimo y en el nivel de la médula espinal por la duramadre que envuelve las raíces nerviosas. En el adulto se producen alrededor de 0.3ml/min lo que equivale a 450ml/24hrs y se recambia aproximadamente tres veces al día, la producción es independiente de la presión intracraneal siendo en promedio para adultos de 18 a 20. La absorción se realiza principalmente por las granulaciones aracnoideas que se extienden hacia los senos venosos duros, otros sitios de absorción incluyen los plexos coroideos y linfáticos, la tasa de absorción es dependiente de la presión intracraneal (3).

La hidrocefalia se define como la dilatación anormal de las cavidades cerebrales por alteración del flujo de LCR. La prevalencia de la hidrocefalia es de 1-1.5%, la incidencia congénita de la misma es de 0.9-1.8 por cada 1000 nacidos vivos (3).

La clasificación funcional de la hidrocefalia la divide en:

- A) OBSTRUCTIVA (no comunicante): bloqueo proximal a las granulaciones aracnoideas.
- B) COMUNICANTE (no obstructiva): la circulación del LCR es bloqueada a nivel de las granulaciones aracnoideas.
- C) SOBREPONCIÓN (3)

Existen otras formas especiales de hidrocefalia independientes de la clasificación funcional:

- a) Hidrocefalia de presión normal.
- b) Atrapamiento del cuarto ventrículo: el cuarto ventrículo no comunica con el tercer ventrículo ni con las cisternas basales. Generalmente es secundario a derivación ventricular crónica de ventrículos laterales, posterior a hidrocefalia infecciosa o derivaciones infectadas de manera repetida.
- c) Hidrocefalia compensada: cuenta los siguientes criterios en ausencia de válvula de derivación:
 - a. Tamaño ventricular casi normal.
 - b. Curva de crecimiento encefálico normal.
 - c. Desarrollo continuo de habilidades psicomotoras.

Otras entidades a diferenciar que no son consideradas propiamente hidrocefalia son:

- Hidrocefalia ex vacuo: en relación a atrofia cerebral.
- Hidrocefalia secundaria a otitis media
- Hidrocefalia externa o hidrocefalia externa benigna: aumento del espacio subaracnoideo generalmente en las astas frontales durante los primeros años de vida generalmente resuelve en los primeros 2 años de manera espontanea. Se asocia a aumento del perímetro encefálico y ligero retraso en el desarrollo motor sin otros síntomas. Se desconoce su etiología se ha sugerido una alteración en la reabsorción del líquido cefalorraquídeo.
- Hidranencefalia: ausencia total o casi total del parénquima cerebral secundaria a infartos o infección con sustitución secundaria de liquido cefalorraquídeo.

Se han descrito numerosos métodos para definir cuantitativamente la hidrocefalia, estos son algunos de los criterios tomográficos y por resonancia magnética más utilizados para la hidrocefalia hidrostática:

- 1.- El tamaño de las dos astas temporales es igual o mayor a 2mm de ancho y las cisuras sivilana, interhemisferica y surco cerebral no son visibles.
- 2.- Cuando el tamaño de las astas temporales es igual o mayor a 2mm de ancho y el radio de la distancia de los cuernos frontales (CF), medido de borde externo a borde externo de cada cuerno frontal y entre las tablas internas (TI) a este nivel es mayor a 0.5.
- 3.- Forma redondeada de las astas frontales de los ventrículos laterales y del tercer ventrículo.
- 4.- Baja densidad periventricular en tomografía o hiperintensidad en secuencias T2 de Resonancia magnética que sugieran edema transependimario.
- 5.- Utilizando solamente el radio entre el diámetro mayor de las astas frontales y de las tablas internas a este nivel, un resultado <40 es normal, de 40-50 es limítrofe y >50 sugiere hidrocefalia.
- 6.- Índice de Evans: radio de la distancia entre los cuernos frontales y el diámetro biparietal máximo mayor a 30%

La etiología de la hidrocefalia se divide de acuerdo a su etiología en:

CONGÉNITAS:

- Malformación de Chiari tipo II y mielomeningocele.
- Malformación de Chiari tipo I
- Estenosis primaria del acueducto
- Gliosis secundaria del acueducto (debida a infección intrauterina o hemorragia de matiz germinal)
- Malformación de Dandy Walker
- Desorden hereditario ligado al cromosoma X

ADQUIRIDAS:

- Infecciosas (causa más común de hidrocefalia comunicante)
 - Post meningitis (especialmente purulenta y basal, incluye tuberculosis)
 - Cisticercosis
- Post hemorrágicas (segunda causa más frecuente de hidrocefalia comunicante)
 - Post hemorragia subaracnoidea
 - Post hemorragia intraventricular (la mayoría es transitoria, en el 20 a 50% de las hemorragias abundantes puede ser crónica)

- Secundaria a tumoraciones:
 - No neoplásicas (malformación vascular)
 - Neoplásicas (bloquean el flujo del líquido cefalorraquídeo)
- Post operatorias (el 20% de los pacientes pediátricos a los que se les resecó un tumor de fosa posterior van a desarrollar hidrocefalia crónica).
- Neurosarcoidosis
- Ventriculomegalia constitucional
- Asociada a tumores espinales

El tratamiento de la hidrocefalia sigue siendo quirúrgico, el tratamiento farmacológico solo se aplica de manera temporal en infantes con sangrado en el líquido cefalorraquídeo sin embargo solo se debe considerar como una medida temporal.

Las metas del tratamiento quirúrgico son de optimizar la función neurológica y evitar las alteraciones en la morfológica encefálica. Las principales opciones terapéuticas son las siguientes:

- Resección de los plexos coroides
- Eliminación de la causa obstructiva
- Ventriculostomía en el tercer ventrículo

- Derivación ventricular: los principales tipos de derivaciones son los siguientes:
 - Ventriculoperitoneal
 - Ventrículo atrial
 - Torkildsen
 - Ventrículo pleural
 - Ventrículo vesical
 - Lumboperitoneal

Algunas de las complicaciones más frecuentes que pueden presentar las derivaciones ventriculares son:

- Obstrucción (causa más común de disfunción) proximal, mecanismo de válvula o distal.
- Desconexión en el sitio de unión o ruptura del catéter.
- Infección
- Importante lesión cutánea
- Convulsiones (riesgo de 5.5% en el primer año de colocación)
- Metástasis extracraneal de algunos tumores
- Alergia al silicón

Las indicaciones para remover o reparar una derivación ventricular desconectada o no funcionante son las siguientes:

1. Cuando existe duda de su funcionamiento adecuado.
2. Se indica una reparación del catéter cuando se encuentran en posición marginal, presencia de síntomas de hipertensión intracraneal, cambios en la función cognoscitiva, estenosis del acueducto o espina bífida.
3. Debido a que los riesgos quirúrgicos por remover una derivación son muy altos solo está indicado en casos de infección.
4. Los pacientes con una derivación no funcionante deben ser controlados frecuentemente con tomografías de encéfalo y evaluaciones neurológicas (3).

El retiro de una derivación ventricular es controversial, algunas referencias señalan que la hidrocefalia comunicante es la que con mayor frecuencia puede ser eventualmente independiente de una derivación ventricular, otros autores refieren que se pueden retirar independientemente de la etiología hidrocefalia. Sin embargo se debe realizar un seguimiento continuo ya que se han reportado muertes hasta cinco años después de una supuesta independencia de la derivación (3). Por lo tanto es importante realizar un seguimiento estrecho de la evolución del paciente tanto clínicamente como por

estudios de imagen siendo la tomografía computada una de las herramientas de imagen más empleada.

En estudios realizados en Estados Unidos y Europa se ha demostrado que la tomografía computada representa solo el 15% de todos los estudios de imagen realizados sin embargo contribuye al 75% de la dosis total de radiación producida (1).

Todos los habitantes de la tierra reciben cierto grado de exposición a la radiación cada año a causa de la radiación ambiental, proveniente de las rocas y el suelo, del espacio externo, del gas radón y de isótopos naturales de elementos que se encuentran en el tejido vivo como el carbono 14 y potasio 40. La radiación de medio ambiente produce una dosis efectiva anual promedio equivalente a 3.2 milisieverts. El sievert es la unidad del sistema internacional de dosis efectiva que toma en cuenta la radiación parcial del cuerpo y el tipo específico de radiación que produce una dosis absorbida (5).

La cantidad de radiación emitida por estudio debe ajustarse al concepto radiológico de ALARA por sus siglas en inglés “ As low as reasonably achievable” traducido como lo más bajo que sea razonablemente posible, lo anterior traduce que no hay un nivel absolutamente seguro de radiación. Los efectos secundarios a radiación pueden clasificarse como estocásticos y determinísticos. Los efectos estocásticos son aquellos efectos biológicos de la radiación para los cuales no existe una dosis umbral sino que la probabilidad de que se produzcan es función de la dosis absorbida y cuya severidad es

independiente de la dosis, entendiéndose como dosis absorbida a la energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa de un determinado material, medida en un punto específico y su unidad de medida son los gray (Gy) o miligrays (mGy). Los efectos determinísticos son los efectos biológicos de la radiación que se presentan solo cuando se rebasa la dosis umbral específica para ese efecto y cuya severidad es función de la dosis absorbida (4,5).

Al considerar que no todos los tipos de radiación producen el mismo efecto en humanos se utiliza el concepto de equivalente de dosis el cual es el producto de la dosis absorbida por el factor de radiación expresado en sieverts (Sv). Para rayos X y gamma el factor de radiación es igual a 1 por lo que la dosis absorbida de 1Gy es igual a 1Sv.

El parámetro fundamental de dosis de radiación en tomografía es índice de dosis de tomografía computada o por sus siglas en inglés CTDI vol “CT dose index” el cual puede ser medido en aire o en fantoma cilíndrico para calcular el promedio de dosis emitida al paciente cuya unidad de medida es el mGy. Para valorar la exposición de el paciente después de escanear cierta distancia se usa el término dosis producto de la longitud o DLP por sus siglas en inglés “dose-length product” que es igual al CTDI vol por la longitud de escaneo cuya unidad de medida es mGy/cm (16 y 17).

No hay duda de que dosis mayores 100 mSv pueden producir efectos graves como cáncer, sin embargo el efecto de dosis menores es controvertido.

Dentro de un rango estimado del riesgo calculado para la dosis producida por estudio de imagen se pueden desglosar las siguientes categorías:

| DOSIS EFECTIVA MSV | CUANTIFICACIÓN | TIPO DE EXÁMEN |
|--------------------|----------------|--|
| < 0.1 | Insignificante | Teleradiografía de tórax, extremidades o ortopantograma. |
| 0.1 – 1.0 | Mínimo | Rdiografía de abdomen o columna |
| 1.0 – 10 | Muy bajo | Tc de encéfalo, de tórax o de abdomen |
| 10 – 100 | Bajo | Tc multifásica |
| >100 | Moderado | Procedimientos intervencionistas o TC de repetición. |

(16)

En base a lo anterior se han desarrollado diferentes herramientas para reducir la cantidad de dosis aplicada al paciente a lo mínimo necesario, una de ellas es la modulación de dosis (1), estas herramientas buscan el equilibrio entre la aplicación mínima de radiación por estudio y la producción de una adecuada calidad de imagen para una interpretación certera. Un factor importante en la calidad de imagen en tomografía computada es la cantidad de ruido cuántico de rayos x incluido en los datos de exploración usados para reconstruir la imagen. Uno de los factores de la exploración que hacen

disminuir el ruido, es decir mejorar la calidad de imagen, son el aumento del mA, ya que el ruido disminuye con la raíz cuadrada inversa del valor del mAs (2).

El factor más importante que influye en el ruido cuántico de los datos de exploración es la atenuación de los rayos X de la sección del paciente que se está explorando. La atenuación de los rayos X está relacionada con el tamaño y la composición del tejido de la sección del paciente. El área de atenuación del paciente, también denominada indicador de atenuación del paciente o PAI, se obtiene para la sección del paciente como la raíz cuadrada del producto de la suma de los valores de atenuación de píxeles sin procesar multiplicada por el área de píxeles.

En el caso de una técnica de exploración fija determinada, el ruido cuántico varía en aproximadamente un factor de 5 de la atenuación del paciente, teniendo que seleccionar el valor del mA usando una estimación cualitativa de la atenuación del paciente. Esto se puede lograr mediante el uso de los pesos de los pacientes, mediciones de diámetros, índices de masa corporal o simplemente una clasificación visual cuantitativa. Estos métodos proporcionan estimaciones de atenuación de rayos x poco aproximadas y no dan cuenta de los cambios de la atenuación que se producen dentro de la región del paciente que se está explorando, el radiólogo debe usar un margen de técnica suficientemente alto para evitar la posibilidad de poner en peligro la cantidad de las imágenes de diagnóstico con demasiado ruido. Como la dosis es inversamente proporcional al cuadro del ruido, es muy probable que

muchos pacientes reciban más dosis de la necesaria para la calidad de diagnóstico requerida usando dichos métodos manuales.

La modulación automática de la corriente del tubo puede hacer ajustes de los valores de mA mucho más precisos que los que se estimen manualmente y por lo tanto puede obtener un ruido de la imagen mucho más uniforme.

La modulación de la corriente del tubo del eje Z ajusta la corriente del tubo para mantener un nivel de ruido cuántico seleccionado, con el objetivo de que todas las imágenes contengan un ruido cuántico de rayos x similar con independencia del tamaño y la anatomía del paciente, determinado por la atenuación y la forma de las proyecciones de la exploración de reconocimiento del paciente justo antes de la secuencia de cortes (2).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿El empleo de modulación de dosis en tomografía computada de encéfalo disminuye de manera significativa la dosis aplicada a pacientes con hidrocefalia derivada, en comparación a protocolos sin modulación de dosis?.

V. JUSTIFICACIÓN

En series publicadas se han establecido protocolos para tomografía computada de encéfalo con modulación de dosis mostrando un ahorro significativo en la dosis producida sin alterar la calidad en la imagen, sin embargo muchos de los tomógrafos utilizados en instituciones en nuestro país no cuentan con esta función. En este estudio empleamos un protocolo con modulación de dosis para pacientes con hidrocefalia derivada los cuales son sometidos de manera frecuente a estudios tomográficos de encéfalo, para valorar si la disminución en la dosis total aplicada en el periodo de un mes hasta un año es significativamente menor a la recibida sin modulación de dosis.

VI. HIPOTESIS

La modulación de dosis en tomografía computada para pacientes con hidrocefalia derivada, los cuales son sometidos a múltiples estudios tomográficos de control, disminuye de manera significativa la radiación aplicada al paciente en comparación con protocolos tomográficos que no utilizan esta función.

VII. OBJETIVOS

1.-Aplicar la función de modulación de dosis en los protocolos de tomografía computada de encéfalo en pacientes con hidrocefalia derivada para evaluar la cantidad de radiación producida por estudio.

2.-Calcular de manera retrospectiva la cantidad de dosis que se hubiera producido aplicando modulación de dosis considerando el numero de estudios previos promedio realizados en un periodo mensual y de hasta un año previo al estudio valorado.

3.-Comparar la radiación total calculada emitida a pacientes con hidrocefalia derivada sometidos a múltiples estudios de tomografía computada de encéfalo en un periodo de un mes y hasta un año previo al estudio valorado sin modulación de dosis reportado en la literatura con la radiación total que se hubiera aplicado con protocolos con modulación de dosis.

4.- Comparar la radiación total calculada que se emitiría de acuerdo a la dosis promedio por estudio multiplicada por en número de estudios promedio en los periodos de un mes y hasta un año realizados con modulación de dosis en nuestra población con la dosis reportada en la literatura empleando modulación de dosis.

VIII. MATERIAL, PACIENTES Y MÉTODOS

VIII.I. DISEÑO DEL ESTUDIO

Encuesta transversal.

VIII.II. UNIVERSO DE TRABAJO

Pacientes con hidrocefalia derivada del Hospital de Especialidades de CMN SXXI a los que se les realice tomografía computada de encéfalo de control con el empleo de modulación de dosis durante el mes de Julio del 2010.

VIII.III. VARIABLES

| VARIABLE | CONCEPTUAL | OPERACIONAL | ESCALA DE MEDICION |
|--|---|---|-------------------------------|
| Edad | Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo. | Independiente Numérica Discontinua | Numérica Discontinua |
| Sexo | Condiciones anatómicas, fisiológicas y afectivas que definen un género. | Independiente Categórica Dicotómica | Femenino = 0 Masculino = 1 |
| Número de cortes tomográficos | Cantidad de cortes tomográficos realizados por estudio. | Independiente Numérica Discontinua | Numérica Discontinua |
| Número de estudios en un periodo de un mes | Cantidad de estudios realizados en un periodo de un mes. | Independiente Numérica Continua | Numérica Continua |
| Número de estudios en un periodo de hasta un año | Cantidad de estudios realizados en un periodo de hasta un año. | Independiente Numérica Continua | Numérica Continua |

| | | | |
|---|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| CTDI vol * | Dosis promedio de exposición a un área representativa del paciente. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy |
| DLP** | Exposición de dosis al paciente después de escanear una distancia determinada. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy/cm |
| Dosis mensual en CTDI vol calculada con modulación de dosis | Producto del CTDI vol con modulación de dosis y el Número de estudios mensuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy |
| Dosis mensual en DLP calculada con modulación de dosis | Producto del DLP con modulación de dosis y el Número de estudios mensuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy.cm |
| Dosis anual en CTDI vol calculada con modulación de dosis | Producto del CTDI vol con modulación de dosis y el Número de estudios anuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy |
| Dosis anual en DLP calculada con modulación de dosis | Producto del DLP con modulación de dosis y el Número de estudios anuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy.cm |
| Dosis mensual en CTDI vol calculada sin modulación de dosis | Producto del CTDI vol con modulación de dosis y el Número de estudios mensuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy |

| | | | |
|---|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| Dosis mensual en DLP calculada sin modulación de dosis | Producto del DLP con modulación de dosis y el Número de estudios mensuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy.cm |
| Dosis anual en CTDI vol calculada sin modulación de dosis | Producto del CTDI vol sin modulación de dosis y el número de estudios anuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy |
| Dosis anual en DLP calculada sin modulación de dosis | Producto del DLP sin modulación de dosis y el número de estudios anuales promedio realizados. | Dependiente Numérica Continua | Numérica Continua mGy.cm |

*CTDI vol: CT dose index o índice de dosis de tomografía computada por volumen.

**DLP: Dose length product o dosis producto de la longitud

VIII.IV. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se incluirán pacientes con hidrocefalia derivada en el Hospital de Especialidades de CMN SXXI, a los que se les realice tomografía computada de encéfalo de control con modulación de dosis durante el mes de Julio del 2010 hasta completar el tamaño de la muestra calculado.

VIII.V. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para una diferencia de 0.025 con una desviación estándar de 0.017 con un alfa de 0.05 y con un poder de 90% se requieren 20 sujetos.

VIII.VI. CRITERIOS DE SELECCIÓN

- **Criterios de inclusión:**

- Pacientes con hidrocefalia derivada derechohabientes a esta UMAE, a los que se les realice tomografía simple de encéfalo en el mes de Julio del 2010 en las instalaciones ya referidas.
- Pacientes mayores de 18 años.
- Al menos un mes de seguimiento por hidrocefalia derivada

VIII. VII. METODOLOGÍA

Se realizarán tomografías computadas de encéfalo a los pacientes con diagnóstico de hidrocefalia, utilizando un tomógrafo de 16 cortes Brightspeed de General Electric con un intervalo de reconstrucción de 3.75seg, un tiempo de rotación de 2 veces por segundo, un kilovoltage de 120, una corriente de tubo (mA) determinada con modulación de dosis teniendo un rango de 100 a 150 mA y un índice señal ruido de 2.8. Una vez acompletado el tamaño de la muestra de acuerdo a los criterios de inclusión se registrara la cantidad de radiación aplicada por estudio de tomografía computada de encéfalo con modulación de dosis a cada paciente con diagnostico de hidrocefalia derivada, posteriormente se buscará mediante el sistema computacional IMPAX el numero de tomografías computadas de encéfalo realizadas a cada paciente en un periodo de máximo un año y se multiplicará el numero de estudios promedio realizados en los periodos de un mes y hasta un año por la cantidad de dosis producida en el último estudio, con el fin de obtener un estimado de la dosis

total aplicada por estudios tomográficos si se hubiera aplicado en todos la función de modulación de dosis. Se anotará la cantidad de dosis estándar, referida en la bibliografía (1) como un CTDIvol de 92.7mGy mas menos 28.3mGy así como de DLP 1409.4mGy.cm mas menos 451.5mGy.cm utilizando un protocolo similar al descrito previamente pero sin modulación de dosis y se multiplicarán individualmente por el número de estudios previos promedio en el periodo de un mes y hasta un año para realizar una comparación en la dosis total estimada producida por estudios de tomografía de encéfalo con y sin modulación de dosis. Se realizará la comparación entre las 2 técnicas tanto utilizando valores de CTDIvol como DLP a través de la prueba T de Student para muestras independientes. Se considerará significativa una $p < 0.05$. Finalmente se realizará una comparación similar entre la cantidad de dosis promedio por estudio en CTDIvol y DLP reportada en la bibliografía con la obtenida en nuestra población empleando en ambas modulación de dosis.

IX. CONSIDERACIONES ETICAS

Se someterá a evaluación por el comité local de evaluación.

X. RECURSOS PARA EL ESTUDIO

X.I. RECURSOS HUMANOS

Residentes del servicio de imagenología.

Dos técnicos radiólogos.

X.II. RECURSOS MATERIALES

Tomógrafo de 16 cortes Brightspeed de General Electric

Programa computacional IMPAX

XI. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Estado del arte | X | | | | | |
| Diseño del protocolo | | X | X | X | | |
| Comité local | | | | X | | |
| Recolección de datos | | | | X | X | |
| Análisis de resultados | | | | | X | |
| Redacción manuscrito | | | | | X | X |
| Envío del manuscrito | | | | | | X |

XII. RESULTADOS

Se incluyeron un total de 26 pacientes, de los cuales 12 (46%) fueron mujeres y 14(54%) hombres con una edad promedio de 57 años siendo la mínima de 34 años y la máxima de 79 años. El total de tomografías de encéfalo realizadas por paciente en el rango de un mes a un año fue en promedio de 8 siendo el mínimo de 2 y el máximo de 30, eliminando los valores máximo y mínimo el promedio persiste en 8 estudios por paciente.

El tiempo de seguimiento tomográfico en promedio fue de 149 días. En promedio el CTDIvol obtenido por estudio empleando modulación de dosis fue de 60.4mGy con un mínimo de 50.6mGy, un máximo de 70.4mGy y una desviación estándar de 5.73 comparado con lo reportado en la literatura de 92.7mGy con mínimo de 79.5mGy y máximo de 159.1mGy sin emplear modulación de dosis y de 32.6mGy con mínimo de 24.6mGy y máximo de 54.2mGy con modulación de dosis (tabla 1). En promedio el DLP obtenido por estudio empleando modulación de dosis fue de 984.3mGy.cm con un mínimo de 716.13mGy.cm, un máximo de 1134.4mGy.cm y una desviación estándar de 114.7, comparado con lo reportado en la literatura de 1409.4mGy.cm con un mínimo de 1193mGy.cm y máximo de 2147.3mGy.cm sin emplear modulación de dosis y 559.5mGy.cm con un mínimo de 369.3mGy.cm y un máximo de 731.8mGy.com empleando modulación de dosis (tabla 1). El número de cortes realizado por estudio fue de 31 en promedio con un mínimo de 28 y un máximo de 36.

Se comparó el promedio de CTDIvol empleado por estudio con modulación de dosis con la empleada sin modulación de dosis reportada en la literatura mediante T de Student, con un intervalo de confianza del 95%, se obtuvo una P de < 0.0000001 , también se comparó el promedio de DLP empleado por estudio con modulación de dosis con el empleado sin modulación de dosis obteniendo una P de < 0.0000001 , la comparación mediante T de Student de el promedio de CTDIvol y de DLP obtenido por estudio en pacientes con modulación de dosis obtenido en nuestra población comparada con la literatura mostró también una diferencia significativa con un intervalo de confianza de 95% y una P < 0.0000001 .

El total de radiación calculado que se emplearía durante un mes tomando el promedio de estudios realizados sería en CTDIvol de 61.18mGy y DLP de 930.2mGy.cm sin modulación de dosis, un CTDIvol de 39.87mGy y un DLP de 625.89mGy.cm con modulación de dosis en nuestra serie y un CTDIvol 23.89mGy con DLP de 369.27mGy.cm con modulación de dosis reportado en la literatura (tabla 2 y 3). El total de radiación calculado que se emplearía durante un periodo de hasta un año tomando el promedio de estudios realizados sería en CTDIvol de 741.6mGy con DLP de 11275.2mGy.cm sin modulación de dosis, un CTDIvol de 483.36mGy con DLP de 7586.56mGy.cm con modulación de dosis en nuestra serie y un CTDIvol de 289.6mGy con DLP de 4476mGy.cm con modulación de dosis reportado en la literatura (tabla 2 y 3). Un total de 24 pacientes no fueron incluidos por no cumplir con el criterio de un mes de seguimiento tomográfico por hidrocefalia derivada.

XIII DISCUSIÓN

El total de estudios realizados por paciente con un promedio de seguimiento de 149 días fue de ocho, correspondiendo a 0.66 estudios al mes, siendo el mínimo de 2 y el máximo hasta 30 estudios considerando un periodo de seguimiento mínimo de un mes y máximo de un año sin embargo se realizaron estudios tomográficos de otras .regiones anatómicas así como en un

periodo mayor de un año los cuales no fueron incluidos y consideran un aporte importante de radiación.

En promedio el CTDI_{vol} empleando modulación de dosis fue de 60.4mGy con un mínimo de 50.6mGy y máximo de 70.4mGy con DLP de 984mGy.cm con un mínimo de 716.1mGy.cm y máximo de 1134.4mGy.cm, en series publicadas se reporta un CTDI_{vol} promedio sin aplicación de modulación de dosis de 92.7mGy (mas menos 28.3mGy) con DLP 1409.4mGy.cm (mas menos 451.5mGy.cm) y al aplicar modulación de dosis un CTDI_{vol} promedio de 36.2mGy (mas menos 6.2mGy) con DLP de 559.5mGy.cm (mas menos 124mGy.cm) al aplicar T de Student se observa diferencia significativa al comparar nuestra población contra la reportada en la literatura con y sin empleo de modulación de dosis probando un ahorro en la dosis aplicada con protocolos de modulación de dosis especialmente en estos casos que conllevan un seguimiento continuo con estudios tomográficos, reportando hasta 30 en nuestra serie, sin embargo existen ciertos parámetros de programación que difieren entre nuestro protocolo de modulación de dosis y el publicado en la bibliografía (1) como el índice señal ruido y el rango mínimo y máximo de miliamperage que aun no nos permiten alcanzar el ahorro de las series publicadas con modulación de dosis y que fueron determinados de esta manera para no alterar la calidad en la imagen pero que podrían ajustarse en próximos estudios para valorar si es significativa la disminución en la calidad de la misma.

Finalmente haciendo un cálculo del total de radiación que se emplearía durante el periodo de un mes se obtiene una disminución en el CTDI vol de 21.31mGy y en el DLP de 304.4mGy.cm al emplear modulación de dosis, cuando el cálculo se hace para el periodo de un año tomando en cuenta el promedio de estudios realizados se obtiene una disminución en el CTDI vol de 258.24mGy y en el DLP de 3748.7mGy.cm al emplear modulación de dosis, esto se traduciría a un ahorro de dosis equivalente al empleado en dos estudios de intervención o en cinco tomografías de encéfalo sin modulación de dosis al año. Debido a estos resultados es claro que el empleo de modulación de dosis presenta un ahorro significativo en la cantidad de dosis empleada y tiene mayor traducción en esta era en la que el seguimiento mediante tomografía computada de los diferentes padecimientos se hace más habitual.

XIV. ANEXOS

GRÁFICO 1



GRÁFICO 2

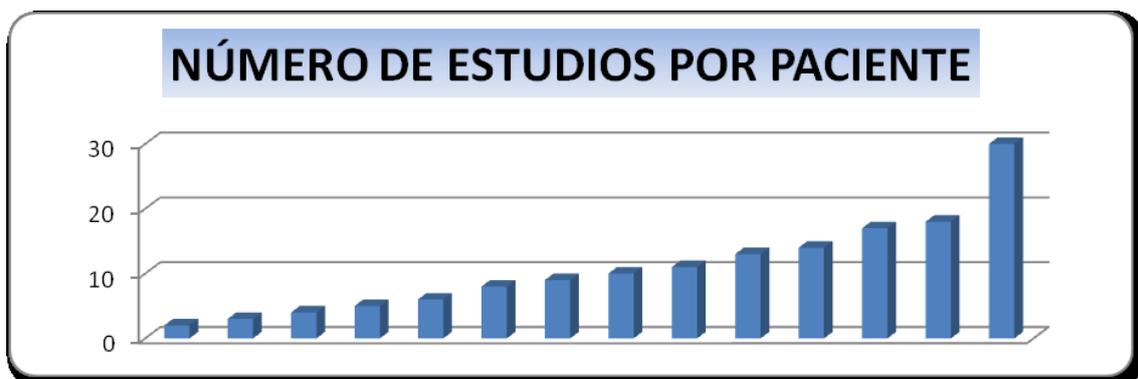


GRAFICO 3



GRAFICO 4



GRAFICO 5

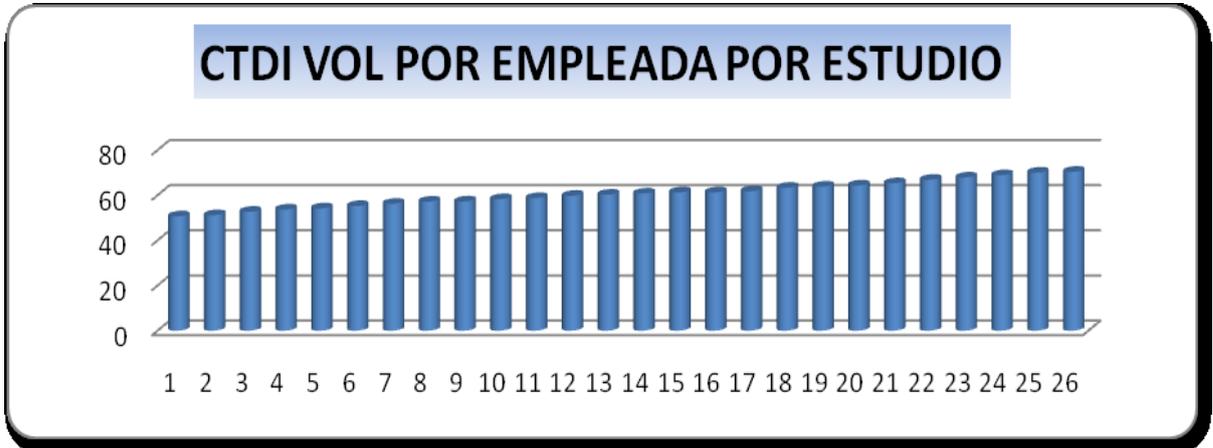


GRAFICO 6



GRAFICO 7



GRAFICO 8

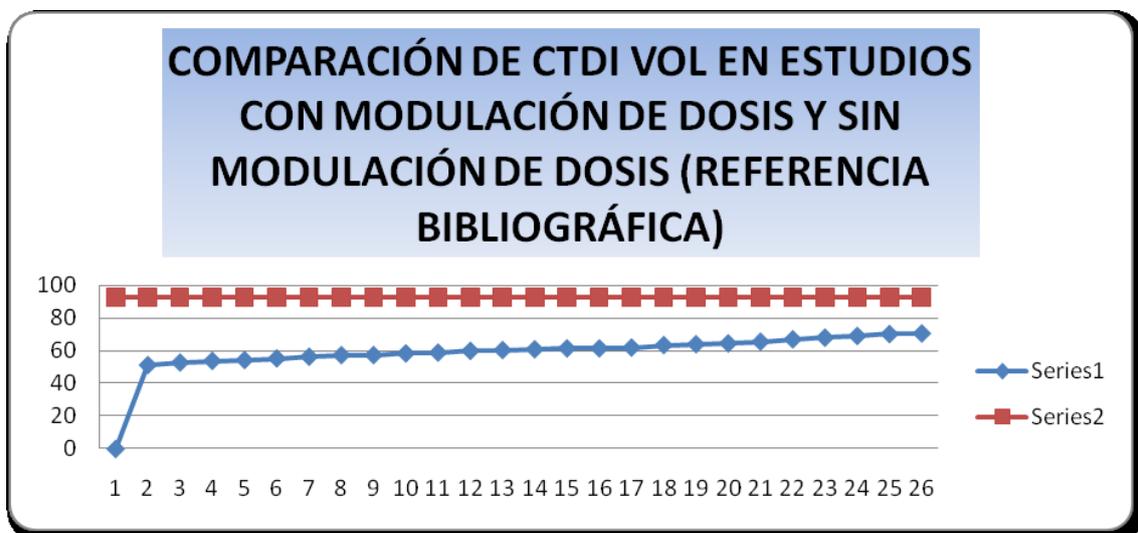


GRAFICO 9

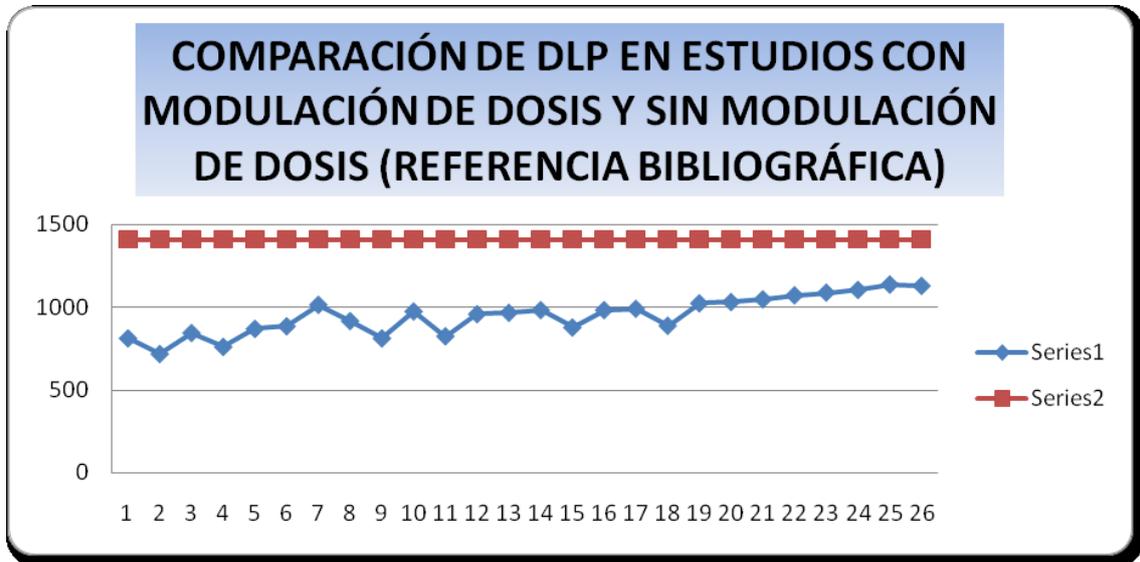


TABLA 1.- DOSIS APLICADA POR ESTUDIO

| | TC DE ENCEFALO SIN MODULACIÓN DE DOSIS (RB) | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS (RB) |
|----------|--|---|--|
| CTDI vol | 92.7 mGy (79.5 - 159.1) | 60.4 mGy (50.6-70.4) | 36.2 mGy (24.6 - 54.2) |
| DLP | 1409.4 mGy.cm (1193-2147.3) | 984.3 mGy.cm (716.1-1134.4) | 559.5 mGy.cm (369.3-731.8) |

*RB: referencia bibliográfica.

**TABLA 2.- CALCULO DE DOSIS MENSUAL Y ANUAL
EMPLEANDO CTDI vol**

| PERIODO DE ESTUDIO | PROMEDIO DE ESTUDIOS REALIZADOS | TC DE ENCEFALO SIN MODULACIÓN DE DOSIS (RB) | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS (RB) |
|-----------------------|------------------------------------|---|--|---|
| UN MES | 0.66 | 61.18 mGy | 39.87 mGy | 23.89 mGy |
| UN AÑO | 8 | 741.6 mGy | 483.36 mGy | 289.6 mGy |

*RB: referencia bibliográfica.

TABLA 3.- CALCULO DE DOSIS MENSUAL Y ANUAL EMPLEANDO DLP

| PERIODO DE ESTUDIO | PROMEDIO DE ESTUDIOS REALIZADOS | TC DE ENCEFALO SIN MODULACIÓN DE DOSIS (RB) | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS | TC DE ENCEFALO CON MODULACIÓN DE DOSIS (RB) |
|--------------------|---------------------------------|---|--|---|
| UN MES | 0.66 | 930.2 mGy.cm | 625.89 mGy.cm | 369.27 mGy.cm |
| UN AÑO | 8 | 11275.2 mGy.cm | 7586.56 mGy.cm | 4476 mGy.cm |

*RB: referencia bibliográfica.

TABLA 4.- CALCULO DE DOSIS AHORRADA AL EMPLEAR MODULACIÓN DE DOSIS

| PERIODO DE ESTUDIO | CTDI vol | DLP |
|--------------------|------------|---------------|
| UN MES | 21.3 mGy | 304.4 mGy.cm |
| UN AÑO | 258.24 mGy | 3748.7 mGy.cm |

XV. REFERENCIAS

1. Smith A., Dillon W., Lau B., Radiation Dose Reduction Strategy for CT Protocols: Successful Implementation in Neuroradiology Section. *Radiology* : Vol. 247, No. 2, Pag. 499-506, Mayo 2008.
2. BrightSpeed Series, Guía de aprendizaje y referencia. General Electric. Revisión: 4, 2007.
3. Handbook of neurosurgery, Greenberg M., editorial Thieme, sexta edición, pag.171-204.
4. Norma oficial Mexicana NOM-157-SSA1-1996, Salud ambiental, protección y seguridad radiológica en el diagnostico médico con rayos x.
5. Kats D., Math K., Groskin S., Secretos de la radiología, Mc Graw-Hill Interamericana, Pag 7-8
6. Lee C., Goo J., Lee H., Radiation Dose Modulation Techniques in the Multidetector CT Era: From Basics to Practice. *RadioGraphics*: Vol. 28, Pag. 1451-1459, 2008.
7. Muhogora W., Ahmed N., Almosabihi A., Patient Doses in Radiographic Examinations in 12 Countries in Asia, Africa, and Eastern Europe: Initial Results from IAEA Projects. *AJR*, Vol. 190, Pag. 1453-1461, Junio 2008.
8. Huda W., Vance A., Patient Radiation Doses from Adult and Pediatric CT. *AJR*, Vol. 188, Pag. 540-546, Febrero 2007.
9. Mc Collough C., Bruesewitz M., Kofler J., CT Dose Reduction and Dose Management Tools: Overview of Available Options. *RadioGraphics*, Vol. 26, Pag. 503-512, 2006.

10. Kalra M., Maher M., Toth T., Strategies for CT Radiation Dose Optimization. *Radiology*, Vol. 230, Pag. 619-628, 2004.
11. Lee C., Haims A., Monico E., Diagnostic CT Scans: Assessment of Patient, Physician, and Radiologist Awareness of Radiation Dose and Possible Risks. *Radiology*, Vol. 231, Pag. 393-398, 2004.
12. Mc Collough C., Guimaraes L., Fletcher J., In Defense of Body CT. *AJR*, Vol. 193, Pag. 28-39, Julio 2009.
13. Hamberg L., Rhea J., Hunter G., Multi-Detector Row CT. Radiation Dose Characteristics. *Radiology*, Vol. 226, Pag. 762-772, 2003.
14. Strauss K., Goske M., Kaste S., Image Gently: Ten Steps You Can Take to Optimize Image Quality and Lower CT Dose for Pediatric Patients. *AJR*, Vol. 194, Pag. 868-873, Abril 2010.
15. Dieter H., Galanski M., Hidajat N., Book Review, Radiation Exposure in Computed Tomography: Fundamentals, Influencing Parameters, Dose Assessment, Optimisation, Scanner Data, Terminology. *AJR*, Vol. 179, Pag. 300, Agosto 2002.
16. Verdun F., Bochud F., Gudinchet F., Quality , Radiation Risk: What You Should Know To Tell Your Patients. *RadioGraphics*, Vol. 28, Pag. 1807-1816, 2008.
17. Mc Nitt-Gray M., AAPM7RSNA Physics Tutorial for Residents: Topics in CT. *RadioGraphics*, Vol. 22, Pag. 1541-1553, 2002.