

Técnicas de planificación de tratamientos de radiocirugía estereotáxica intracraneal con acelerador lineal y conos cilíndricos (nuestra experiencia)

Techniques for planning radiosurgery stereotactic intracranial treatments with a linear accelerator and cylindrical cones (our experience)

Hernández, E.^{1*}; Ortega, M.²

HERNÁNDEZ, E.; ORTEGA, M. Técnicas de planificación de tratamientos de radiocirugía estereotáxica intracraneal con acelerador lineal y conos cilíndricos (nuestra experiencia). *J. health med. sci.*, 10(1):7-13, 2024.

RESUMEN: La radiocirugía estereotáxica intracraneal (SRS) se resume en dos grandes etapas: la planificación del tratamiento (que incluye la adquisición de imágenes para planeación, delimitación de volumen a irradiar y órganos de riesgo, generación y evaluación del plan de tratamiento), y la administración del tratamiento, que, para el presente estudio, se lleva a cabo en el acelerador lineal acondicionado para este fin. Se presentan las técnicas de planificación de tratamientos de radiocirugía con este sistema, que se han ido perfeccionando durante más de diez años, en la clínica de Radioterapia La Asunción en Guatemala. El sistema de planificación utilizado es MNPS de Mevis informática Ltda.

PALABRAS CLAVES: Radiocirugía, Sistema de planificación de tratamientos, técnicas de planificación, estereotáxia.

INTRODUCCIÓN

La radiocirugía estereotáxica intracraneal (SRS), es una técnica de radioterapia que consiste en administrar altas dosis de radiación a volúmenes pequeños (de lesiones malignas o benignas), ubicados dentro de la bóveda craneana. Puede llevarse a cabo en fracción única, o fraccionada (como máximo en cinco días). En las dos modalidades, se hace necesario un sistema de inmovilización del paciente que garantice la administración precisa de la dosis de radiación en el volumen blanco (del inglés “target volumen” = TV) (Sandström, 2019; Fieguete *et al.*, 2008).

El tratamiento de SRS se puede llevar a cabo con equipos emisores de radiación (rayos X de 6 MV o rayos gama), unos dedicados específicamente a este tratamiento como lo son: el GammaKnife, CyberKnife, Zap-X, etc. (Velnar *et al.*, 2018), y los aceleradores lineales de radioterapia de uso general, acondicionados para la administración de tratamientos de radiocirugía, con sistema de colima-

ción basados en conos cilíndricos o colimadores multiláminas de alta definición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utiliza el sistema de planificación de tratamientos para radiocirugía MNPS de MEVIS informática Ltda. para la planificación de los tratamientos; la técnica de irradiación es con acelerador lineal acondicionado con sistema de colimación de conos cilíndricos; el sistema de inmovilización es marco estereotáxico de fijación al hueso con pines. Para la planificación de un tratamiento de SRS, se necesita de imágenes tomográficas (CT) axiales con cortes de 1.25 mm, estando el paciente con el sistema de inmovilización correspondiente colocado (marco estereotáxico para el caso presentado en este trabajo). Estas imágenes de CT podrán ser fusionadas con imágenes de angio-TAC o resonancia magnética nuclear (RMN) en T1 con gadolinio, T2, fiesta o flair, según el protocolo correspondiente (Sandström, 2019).

¹ * Dr. Erick Hernández Ph.D. Clínica de Radioterapia La Asunción; erick.hernandez@rla.com.gt; Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala; 2334824900101@ingenieria.usac.edu.gt

² Clínica de Radioterapia La Asunción; miguel.ortega@rla.com.gt

Después de contorneado el *target volume* (TV) y los órganos en riesgo (OAR's) por parte del médico radio-oncólogo; el físico médico procede a definir el diámetro de los conos a utilizar, la posición del isocentro, la incidencia de los haces de radiación calcula la distribución de dosis, los índices de conformidad, la dosis integral y generar histograma dosis volumen (DVH). Estos datos le servirán al médico radio-oncólogo para tomar la mejor decisión respecto al tratamiento al paciente.

Es posible que el tratamiento requiera de más de un isocentro, esto estará en función del tamaño de TV e inhomogeneidad y la ubicación de los OAR's. Si se requiere más de un isocentro se recomienda empezar con el primer isocentro en la parte más profunda del TV (Goller *et al.*, 2009).

El diámetro del cono se escoge a manera que la curva de isodosis proyectada en los diferentes cortes de CT estén cubiertos (según la inhomogeneidad del TV no es posible en todos los casos que con un solo isocentro se cubra adecuadamente) y velar por que no haya curvas de isodosis prescritas afuera de este.

Si por la forma del TV, una parte de este queda descubierta de la curva de isodosis, se puede compensar con otro isocentro, posiblemente con un cono de diámetro menor y menos peso. Ubicado el isocentro y el tamaño de cono inicial para trabajar, considerar que únicamente se pueden colocar los arcos de la manera que se muestra en la **Figura 1** (Lutz *et al.*, 1988) o cualquier sub arco de estos.

RESULTADOS

Con la configuración presentada en la **Figura 1**, se obtendrá una distribución de isodosis lo más cercana a una esfera, esta configuración se consigue girando la camilla y el gantry, tomar en cuenta que hay ángulos prohibidos por colisión de la camilla con el gantry.

HERNANE

La forma del TV no es necesariamente una esfera, puede tener inclinación hacia derecha o izquierda (visto en corte coronal), se sugieren las configuraciones siguientes para cada caso según corresponda.

Para inclinar la curva de isodosis en la dirección deseada según el TV (si está inclinado a la derecha o izquierda visto en un corte coronal), se propone la configuración presentada en la **Figura 2**.

Para achatar la curva a lo largo del eje horizontal (visto el TV en un corte coronal), se sugiere la configuración presentada en la **Figura 3**.

Teniendo las configuraciones anteriores como punto de partida, se recomienda colocar 5 arcos por isocentro, esto para no hacer muy largo el tiempo de administración del tratamiento.

Para escoger los ángulos que permitan inclinar la curva de isodosis a la derecha o izquierda,

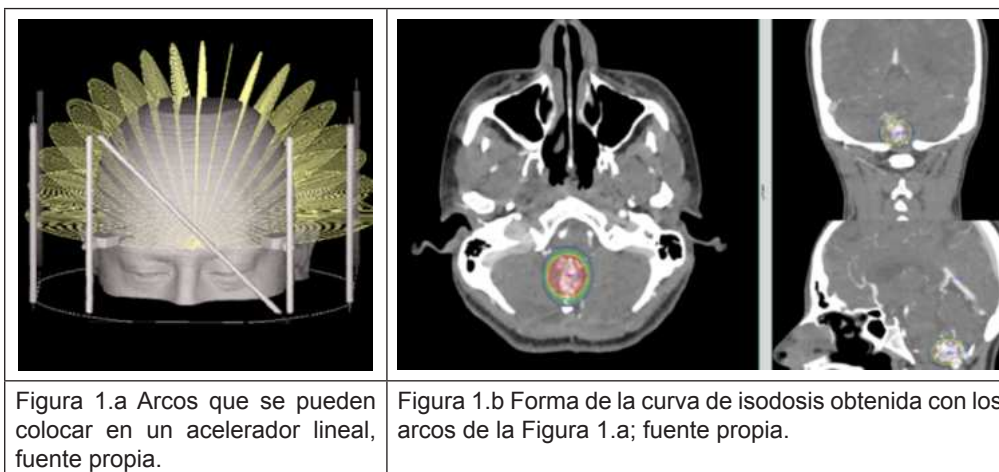


Figura 1.a Arcos que se pueden colocar en un acelerador lineal, fuente propia.

Figura 1.b Forma de la curva de isodosis obtenida con los arcos de la Figura 1.a; fuente propia.

Figura 1. Arcos permitidos en un acelerador; estos se obtienen girando la camilla y el gantry. Fuente propia

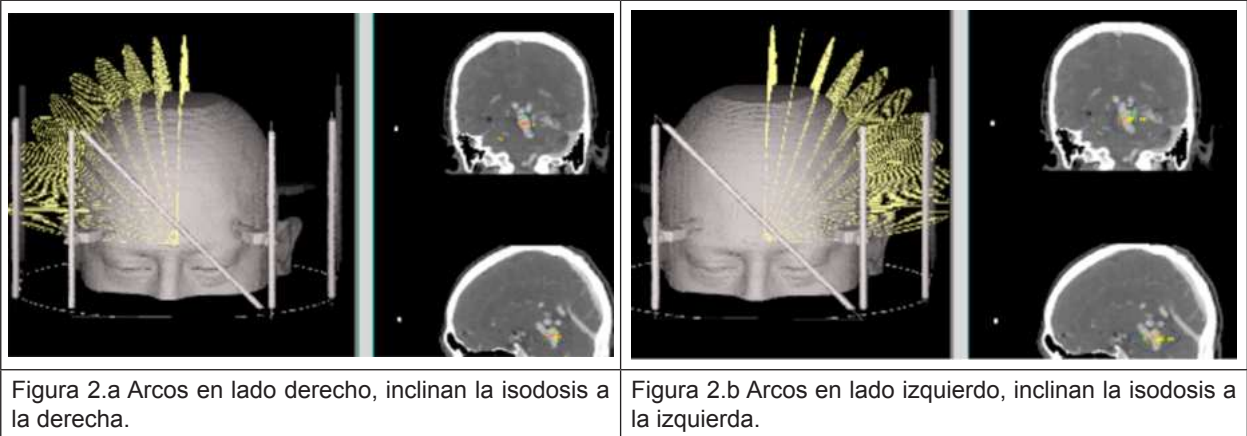


Figura 2.a Arcos en lado derecho, inclinan la isodosis a la derecha.

Figura 2.b Arcos en lado izquierdo, inclinan la isodosis a la izquierda.

Figura 2. ¿Cómo inclinar la curva de isodosis a la derecha o izquierda? (visto el TV desde corte coronal). Fuente propia.

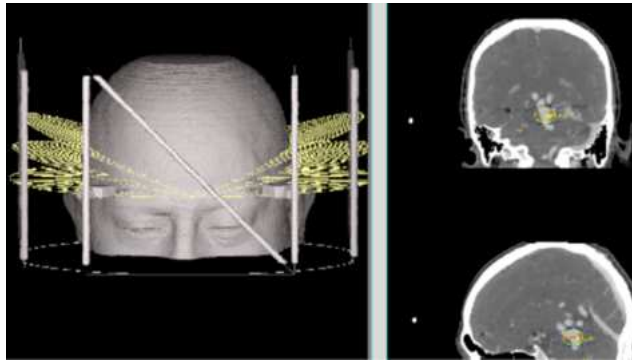


Figura 3. ¿cómo achatar la curva de isodosis? (TV visto desde corte coronal).

colocar el ángulo de camilla paralelo al eje de inclinación del TV y colocar el arco de gantry correspondiente (ver Figura 4.a).

Identificado el primer arco, siguiendo el eje de inclinación de la lesión, colocar dos arcos a cada lado del arco inicial con separación de 5 ó 10 grados entre cada uno (ver Figura 4.b).

Si el TV tiene inclinación hacia el frente (visto en corte sagital), colocar el arco como se muestra en la Figura 5.

Si el TV es mayor que un diámetro de cono y se considera necesario agregar otro isocentro para sumar a las curvas que ya se tienen, se sugiere colocar una configuración semejante a la inicial en un segundo isocentro, posiblemente con menos peso en los arcos. Acercar poco a poco el nuevo isocentro hasta obtener una suma de isodosis adecuada a lo que espera cubrir (ver Figura 6).

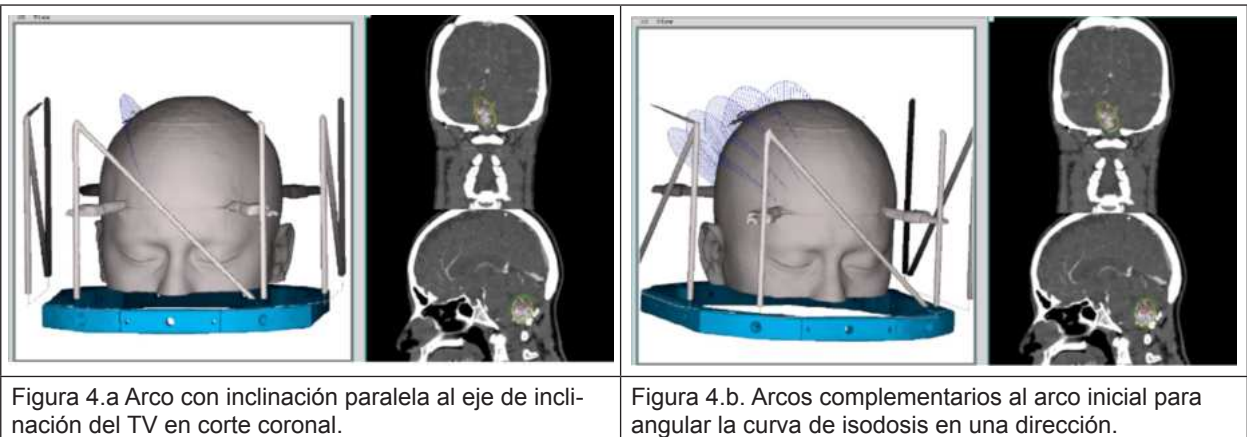


Figura 4.a Arco con inclinación paralela al eje de inclinación del TV en corte coronal.

Figura 4.b. Arcos complementarios al arco inicial para angular la curva de isodosis en una dirección.

Figura 4. Conformación con cinco arcos en dirección según el TV.

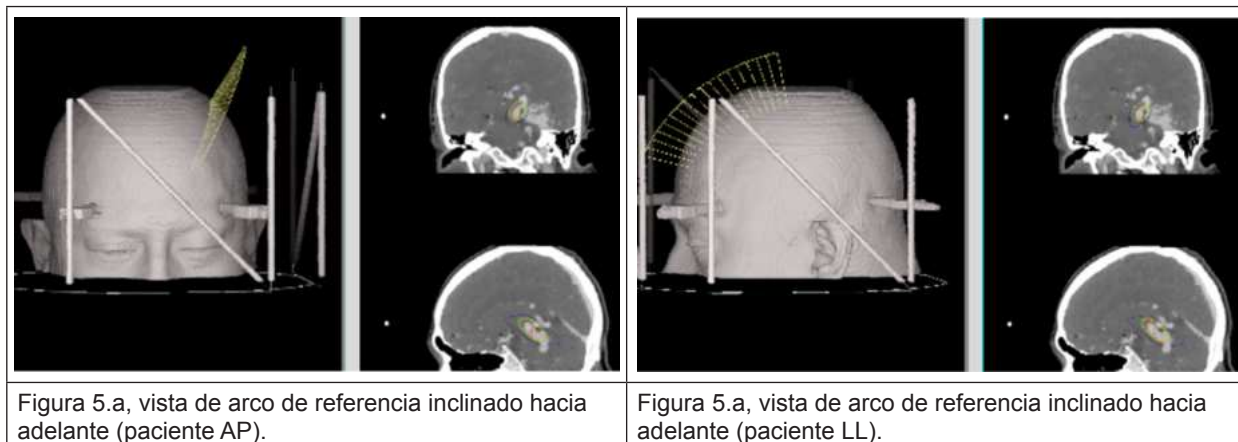


Figura 5. Arco de gantry acortado para inclinar la curva hacia adelante (visto en corte sagital).

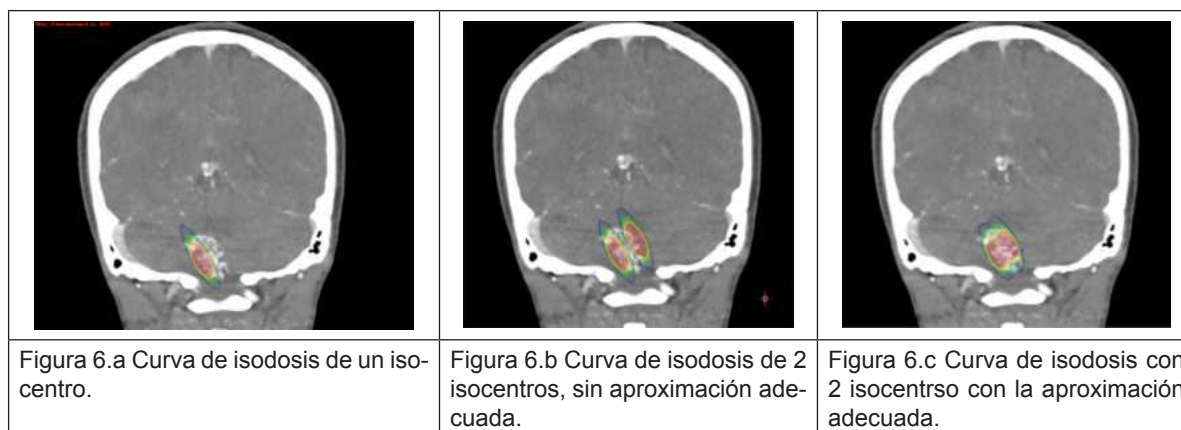


Figura 6. Curvas de isodosis aproximándose para conformar el TV, fuente propia.

Paulatinamente ir acercando un isocentro con el otro hasta obtener una configuración aceptable (ver [Figura 6](#)).

Si se requiere colocar más isocentros en otros lugares para cubrir el TV, proceder siguiendo el mismo criterio (este puede variar según el comportamiento de la curva). Posiblemente los nuevos arcos requerirán un peso menor que los arcos ya colocados (ver [Figura 7](#)).

Casos variables: los TV's a tratar, algunas veces no son bien definidos, siendo amorfos (usualmente las MAV). Para los TV's amorfos, no será posible conformar la curva de isodosis como se describió anteriormente. Una técnica para resolver esto, es conformar el TV con esferitas de curvas de isodosis (Sandström, 2019; Wagner *et al.*, 2000; Cho *et al.*, 1998), en este caso se sugiere colocar un isocentro

en la parte más interna e inferior del TV. Como lo que se quiere obtener es una esfera, colocar arcos a cada 45 grados como se muestra en la [Figura 8](#). Para la forma del TV a las isodosis, aproximar más esferas hasta obtener la forma deseada. Iniciar de la parte más profunda hasta la más externa. Ver [Figura 9](#) y [Figura 10](#). En total se necesitaron 15 isocentros para conformar este TV, cuando se hace con esferas.

DISCUSIÓN

Las curvas de isodosis planificadas presentadas en este trabajo, tenían como objetivo optimizar la dosis de radiación en el TV, y minimizar la dosis en los OAR'S, cumplir con los índices de conformidad de lan Paddick, Jackie Wessels y de eficiencia y que la dosis integral que no supere la dosis límite de necrosis (12 Gy) para evitar necrosis en el tejido cerebral.

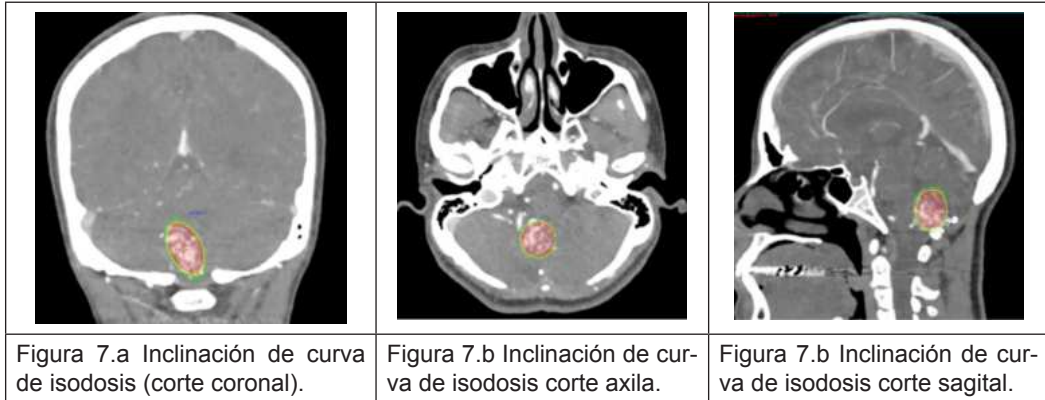


Figura 7. Conformación final con cinco isocentros, fuente propia.

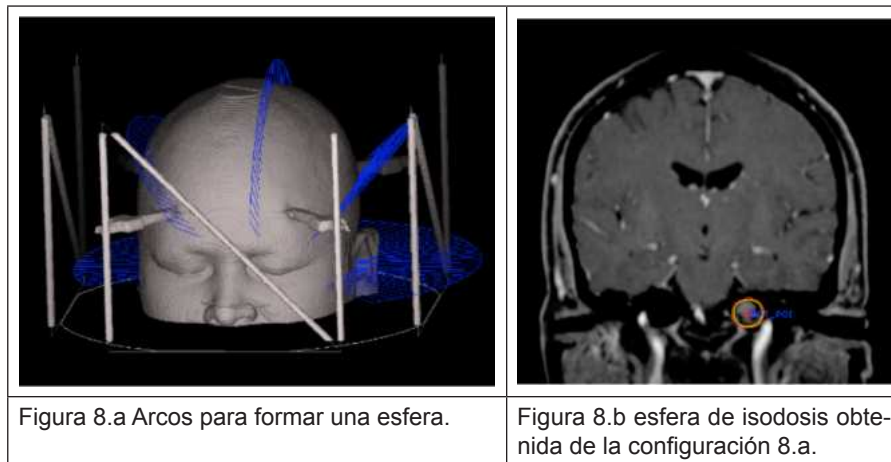


Figura 8. Esferas iniciales para conformar un TV amorfo. Fuente propia.

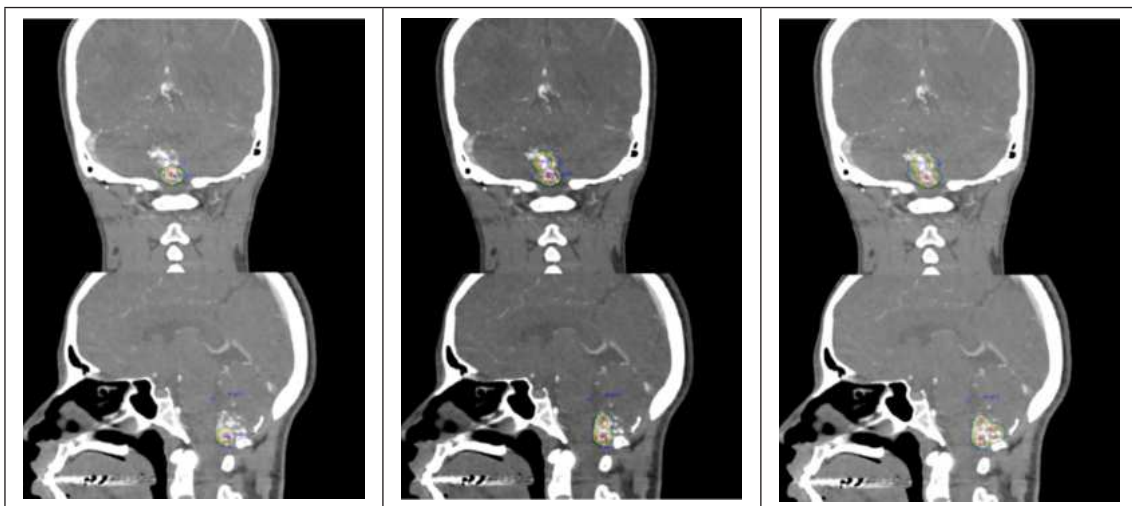


Figura 9.a Secuencia de colocación de esferas en diferente isocentro. Fuente propia.

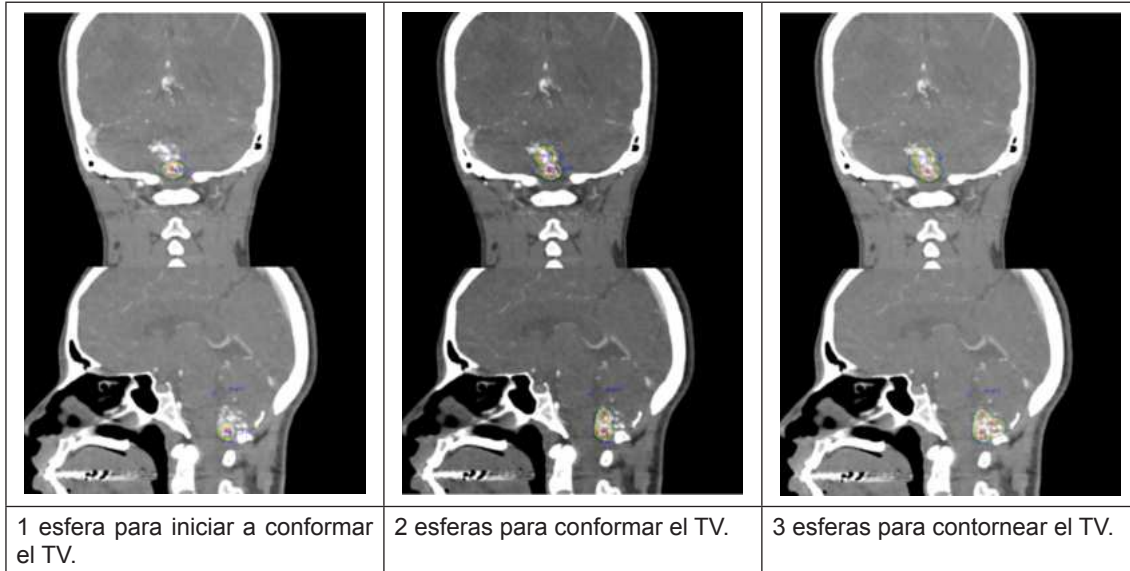


Figura 9.b Reconstrucción 3D de conformación con esferas, fuente propia.

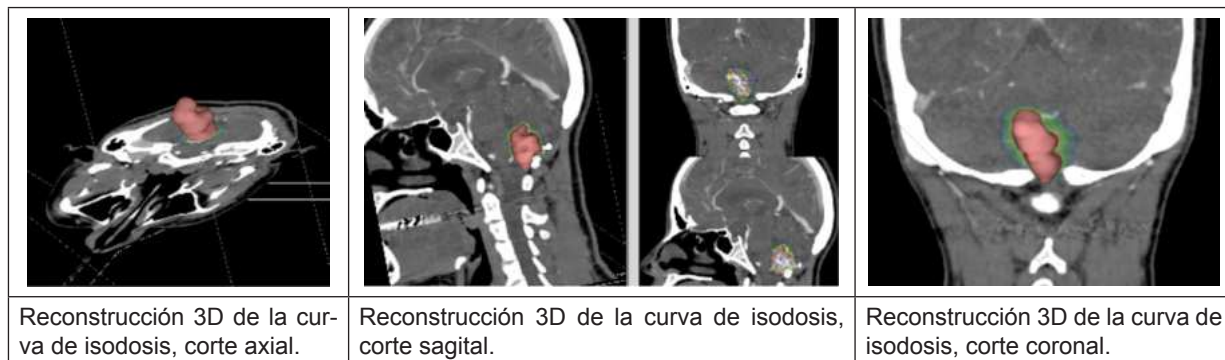


Figura 10. Resultado final de la conformación con esferas, total 15 esferas utilizadas equivalente a 15 isocentros, fuente propia.

Para un TV de forma bien definida e isomorfo o que tenga un eje de simetría, el uso de la técnica de “alargar las curvas de isodosis” angulando la camilla y haciendo sub arcos resulta adecuado, y que ocupa poco tiempo su administración. Cuando la forma del TV es amorfa, cambiante de un corte de CT a otro, resulta más adecuado conformar con esferas, posiblemente de diámetro cambiante de un isocentro a otro; este tipo de plan hace más larga la administración del tratamiento, debido a que aumenta el cambio de isocentros en la sala de tratamiento.

CONCLUSIONES

De la planificación de un tratamiento de radiocirugía se obtiene la información para toma de

decisión del tratamiento óptimo, y a su vez, se determina el número de isocentros y arcos de tratamiento, lo que puede hacer que el tratamiento sea muy extenso (varias horas de administración con el paciente inmóvil), por lo que es recomendable tener este aspecto al momento de planificarlo, y conseguir un balance entre un buen plan y un tratamiento que sea viable llevarlo a cabo.

Se han expuesto las técnicas utilizadas para conformar la isodosis de radiación con el TV, el objetivo es administrar la dosis de radiación al TV y minimizar la dosis en los OAR's, respetando las dosis limitantes en estos según el protocolo adoptado (Goller *et al.*, 2009). Se presentaron dos maneras de conformar la isodosis con el TV, a manera de conseguir los índices de calidad y dosis integral con valores adecuados.

La manera de planificar cada caso se define “in situ” con las imágenes de CT ya contorneadas, los presentado en este estudio es una orientación para que el físico médico escoja la opción que se ajuste mejor a cada situación.

ABSTRACT: Stereotactic intracranial radiosurgery (SRS) can be summarized in two main stages: treatment planning (which includes image acquisition for planning, delineation of the volume to be irradiated and organs at risk, as well as the generation and evaluation of the treatment plan), and treatment administration, which, for this study, is conducted on a linear accelerator specifically configured for this purpose and cylindrical cones. The treatment planning techniques for radiosurgery for this system are presented, which have been refined for over ten years at the Clínica de Radioterapia La Asunción in Guatemala. The planning system used is MNPS from Mevis Informática Ltda.

KEYWORDS: Radiosurgery, treatment planning system, planning techniques, stereotactic.

REFERENCIAS

Cho, P.; Kuterdem, H.; Marks, R. A spherical dose model for radiosurgery plan optimization. *Phys in Med & Biol.*, 43(10): 3145, 1998. DOI: 10.1088/0031-9155/43/10/032.

Fiegele, T.; Feuchtner, G.; Sohm, F.; Bauer, R.; Anton, J.; Gotwald, T.; Eisner, W. *et al.* Accuracy of stereotactic electrode placement in deep brain stimulation by intra-operative computed tomography. *Parkin & rel disord.*,

14(8): 595-599, 2008. DOI <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2008.01.008>.

Goller, C.; Fiedler, J; Gagnon, G.; Paddick, I. Radiosurgical Planning: *Gamma Trick and Cyber Pick*. 2009.

Lutz, W.; Winston, K.; Maleki, N. A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *Int Journ of Rad Onco, Biol, Phys.*, 14(2): 373-381, 1988. [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(88\)90446-4](https://doi.org/10.1016/0360-3016(88)90446-4).

Sandström, H. Contouring & planning variability in stereotactic radiosurgery: How to assess and address the weakest link in stereotactic radiosurgery? *Doctoral dissertation, Department of Physics, Stockholm University*, 2019.

Velnar, T.; Bosnjak, R. Radiosurgical Techniques for the Treatment of Brain Neoplasms: A Short Review. *WJM.*, 8(4): 51-58, 2018. DOI: <https://10.5662/wjm.v8.i4.51>.

Wagner, T.; Yi, T.; Meeks, S.; Bova, F.; Brechner, B.; Chen, Y.; *et al.* A geometrically based method for automated radiosurgery planning. *Int Jour of Rad, Onco, Biol, Phys.*, 48(5): 1599-1611, 2000. DOI: 10.1016/s0360-3016(00)00790-2.

Autor de Correspondencia

Erick Hernández Ph.D.
Clínica de Radioterapia La Asunción;
erick.hernandez@rla.com.gt;
Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala;
2334824900101
@ingenieria.usac.edu.gt

Recibido: 8 de Diciembre, 2023
Aceptado: 10 de Febrero, 2024

