

UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Licenciatura en Producción de Bioimágenes

“Efectividad de los radiofármacos en PET para el diagnóstico de Parkinson”

Tec. Soledad Silvarredonda

AÑO 2025

1. Resumen

La investigación se centra en evaluar distintos radiofármacos utilizados en Tomografía por Emisión de Positrones “PET” para el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad del Parkinson, poniendo énfasis en el ^{18}F – Fluordopa (FDOPA), analizando su sensibilidad, especificidad en comparación con otros radiofármacos. Se realizó un estudio en una muestra de 8 pacientes; luego de la recopilación de información, los hallazgos confirmaron que el FDOPA presenta el 95% de sensibilidad y el 90% de especificidad, determinando a este como el radiofármaco más efectivo.

- Palabras claves: PET, Parkinson, Medicina Nuclear, Radiofármaco, FDOPA, Diagnóstico.

Abstract

The research focuses on evaluating different radiopharmaceuticals used in Positron Emission Tomography “PET” for the diagnosis and monitoring of Parkinson's disease, placing emphasis on ^{18}F – Fluordopa (FDOPA), analyzing its sensitivity and specificity in comparison with other radiopharmaceuticals. A study was carried out on a sample of 8 patients; After collecting information, the findings confirmed that FDOPA has 95% sensitivity and 90% specificity, determining it as the most effective radiopharmaceutical.

- Keywords: PET, Parkinson's, Nuclear Medicine, Radiopharmaceutical, FDOPA, Diagnosis.

2. Agradecimientos

Siempre que se logra un objetivo por más pequeño que parezca, se logra a través del apoyo de muchas personas y de muchas situaciones que nos llevan a conseguirlo. “Nadie se salva solo”.

Quiero agradecer a mi esposa Natalia Tondelli por el incansable apoyo, por transmitirme serenidad en los momentos más difíciles de estos dos años, por contenerme en todo momento y recordarme que vale la pena todo lo hecho. Fue más fácil gracias a vos, mi amor, que fuiste fundamental en este trayecto, te amo. A mis hijos Lázaro y Florencia, que son mi mayor motor. A mis nietos Thiago y Matheo, me llenaron de amor y energía desde su llegada. A Ezequiel, su papá.

A mi querida amiga Silvia Bagnolo que siempre tuvo palabras de aliento para mí, acompañándome a cada paso y apoyándome siempre. Te quiero mucho.

A mis amigas Catalina Hottier y Milagros Miranda que siempre estuvieron para mí, compartimos tantos momentos de risas y llantos en este camino, agradezco infinitamente haberlas conocido, para mí es un honor y orgullo llegar a cumplir este objetivo de la mano de ellas, no hubiera sido posible sin Uds., se merecen todo el éxito en todo lo que emprendan. ¡Las quiero mucho!

A Yamila Lerman, directora de esta hermosa carrera, que siempre y desde hace mucho tiempo confía en mí, acompañándome con mucho cariño y toda su experiencia, pero fundamentalmente por ser la gran persona que es. Gracias por siempre.

A Graciela Rámilo por la oportunidad de hacerme un espacio en sus clases y aprender desde otro lado, otra profesión tan linda como es la docencia. A Carlos Bialek por acompañar en este camino. A Ileana Gasparuti, por la oportunidad de aprender a su lado brindando la confianza para llevar adelante el desarrollo de una clase.

A Miguel Ángel Galloso, bedel de sede Piedras, siempre ayudando y haciendo lo posible para que pueda estudiar con la mayor comodidad en las épocas de examen, siempre con gran calidez y a disposición. Valoro mucho todo el cariño recibido.

Agradezco a mi papá Roberto Silvarredonda, que hoy me cuida desde el cielo, gracias a él aprendí a luchar por lo que quiero, a levantarme cuando caigo y nunca rendirme. Este título es para vos, papi. Te amo por siempre.

Índice

1. Resumen / Abstract	2
2. Agradecimientos	3
3. Introducción	7
4. Planteamiento del problema	7
5. Hipótesis	7
6. Objetivo General	7
7. Objetivos específicos	7
8. Justificación	8
9. Estado del arte	8
10. Marco teórico	10
10.1 Generalidades anatómicas del cerebro	10
10.2 Enfermedad del Parkinson	13
10.3 Generalidades de la Medicina Nuclear: concepto, elución y uso del generador	17
10.4 Tomografía por Emisión de Positrones	19
10.5 PET – CT	21
10.6 Radiofármacos en PET	25
10.7 FDOPA	27
10.8 Protección radiológica	30
11. Marco metodológico	35
11.1 Tipo de investigación	35
11.2 Universo	35
11.3 Población de estudio	35
11.4 Muestra	35
11.5 Criterios de inclusión	35
11.6 Criterios de exclusión	35
11.7 Unidad de análisis	35
11.8 Recolección de datos	35
11.9 Variables	36
11.10 Operacionalización de variables	36
11.11 Análisis de datos	37
12. Resultados	38
13. Discusión	40
14. Conclusión	41
15. Bibliografía	42

16. Anexos 44

16.1 Caso 1 44

16.2 Caso 2 45

16.3 Caso 3 46

16.4 Caso 4 47

16.5 Caso 5 48

16.6 Caso 6 49

16.7 Caso 7 50

16.8 Caso 8 51

3. Introducción

La enfermedad del Parkinson es una de tantas enfermedades neurodegenerativas que requieren un diagnóstico preciso y una detección temprana para que su tratamiento sea más efectivo y así proporcionar una gestión adecuada de los síntomas que nos permita mejorar la calidad de vida del paciente.

En la actualidad, para el diagnóstico de esta patología, se realizan pruebas complementarias. Se destacan la aplicación de radiofármacos encargados de marcar posibles lesiones y funciones cerebrales, que serán reveladas mediante imágenes de alta calidad en el área de medicina nuclear.

4. Planteamiento del problema

En el área de la Medicina Nuclear existen diversos estudios tales como el PET y el PET – TC que utilizan radiotrazadores específicos para evaluar la función, deterioro cerebral, cambios estructurales y seguimiento de la enfermedad. En el desarrollo de la investigación, se pretende responder a la pregunta: “¿Cuál es el radiofármaco más efectivo para el diagnóstico del Parkinson utilizados en PET y PET – TC?”.

5. Hipótesis

El radiofármaco ^{18}F – fluordopa es el más efectivo para la detección del Parkinson, permite evaluar la función dopaminérgica cerebral y el seguimiento de la enfermedad.

6. Objetivo General

- Demostrar cual es el radiofármaco más efectivo para el diagnóstico del Parkinson.

7. Objetivos específicos

- Identificar biomarcadores específicos del Parkinson mediante Medicina Nuclear.
- Determinar las ventajas y limitaciones del PET para el diagnóstico del Parkinson.
- Comparar la sensibilidad y especificidad del ^{18}F – fluordopa con otros radiomarcadores para el diagnóstico del Parkinson.

8. Justificación

La enfermedad del Parkinson afecta a millones de personas en todo el mundo. Un diagnóstico preciso permite un tratamiento efectivo y una mejor gestión de los síntomas. Actualmente, la medicina nuclear ofrece herramientas para la detección de cambios metabólicos y estructurales del cerebro, es por esto, que la investigación se dirige a médicos neurólogos, radiólogos y demás profesionales de salud interesados en esta área; ya que es necesario que se encuentren con información actualizada sobre los métodos de detección para tomar las mejores decisiones clínicas.

9. Estado del Arte:

Como resultado de un análisis profundo de la bibliografía hallada en el motor de búsqueda Google académico, aplicando disparadores como “Parkinson”, “radiofármacos en Parkinson”, “diagnóstico del Parkinson”, “PET en Parkinson”; se señala la importancia de los siguientes artículos:

- “NEUROIMÁGENES EN ENFERMEDAD DE PARKINSON: ROL DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA, EL SPECT Y EL PET”: “La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo, caracterizado por la pérdida progresiva de neuronas monoaminérgicas, en especial dopaminérgicas. En las últimas décadas, se han desarrollado diversos biomarcadores para el estudio de los pacientes con EP. Un grupo de estos biomarcadores son las neuroimágenes, como la resonancia magnética cerebral y las imágenes moleculares, en particular, la tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía por emisión de fotón único (SPECT). Estas técnicas, se han empleado en el diagnóstico temprano de la EP, así como para mejorar el diagnóstico diferencial entre EP y otros parkinsonismos y para monitorizar la progresión de la enfermedad. Con estos fines, se ha utilizado la capacidad de estas técnicas para evaluar la pérdida de la actividad dopaminérgica y de otras vías monoaminérgicas, al igual que la posibilidad de valorar la inflamación y el metabolismo a nivel cerebral. Recientemente, los nuevos criterios para el diagnóstico de la EP reconocen al PET y SPECT como herramientas valiosas en el diagnóstico de esta enfermedad. En este artículo, se analiza la utilidad actual de las técnicas de imagen en pacientes con EP y otros parkinsonismos y sus potenciales aplicaciones futuras.”

Juri, C., & Wanner, V. (2016)¹

El Parkinson se caracteriza por la pérdida de neuronas, principalmente dopaminérgicas. Las neuroimágenes cumplen un papel fundamental como biomarcador para evaluar esta patología. Poder identificar cuáles son los biomarcadores en el área de Medicina Nuclear que se destacan, permitirá su utilidad, obtener un diagnóstico temprano y diferenciación de otros parkinsonismos.

- “Diagnóstico de la enfermedad de Parkinson”: “La enfermedad de Parkinson (EP) es la segunda enfermedad neurodegenerativa en frecuencia, y afecta al 1-2% de la población de más de 65 años [1]. Es una enfermedad progresiva y crónica, causada por la lenta degeneración de las neuronas cerebrales de un grupo específico: de forma clara, las neuronas dopaminérgicas. Diagnóstico de la enfermedad de Parkinson J. Tapia-Núñez a,c ,P. Chaná-Cuevas b,c de la sustancia negra (pars compacta). Se sabe que, para que los signos clínicos se hagan evidentes, se requiere una pérdida superior al 80% de las neuronas de esta área [2].” Tapia-Núñez, J., & Chaná-Cuevas, P. (2004).² Se destaca la importancia del radiofármaco 18 F – fluordopa que permite observar el daño dopaminérgico y detectar la enfermedad en etapas tempranas o preclínicas. Sin embargo, realiza una comparativa con otros radiofármacos capaces de diferenciar el Parkinson de otras patologías. El presente trabajo pretende demostrar cual es el radiofármaco más efectivo a la hora de diagnosticar la enfermedad del Parkinson.

¹ Juri, C., & Wanner, V. (2016). Neuroimágenes en enfermedad de Parkinson: rol de la resonancia magnética, el SPECT y el PET. *Revista médica clínica las condes*, 27(3), 380-391. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864016300384> Recuperado: 6/10/2024

² Tapia-Núñez, J., & Chaná-Cuevas, P. (2004). Diagnóstico de la enfermedad de Parkinson. *Rev neurol*, 38(1), 61-67. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Pedro-Chana/publication/8379526_Diagnosis_of_Parkinson's_disease/links/54538a540cf2bccc490b191d/Diagnosis-of-Parkinsons-disease.pdf Recuperado: 6/10/2024

10. Marco teórico

10.1 Generalidades anatómicas del SN

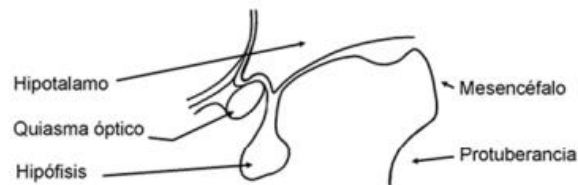
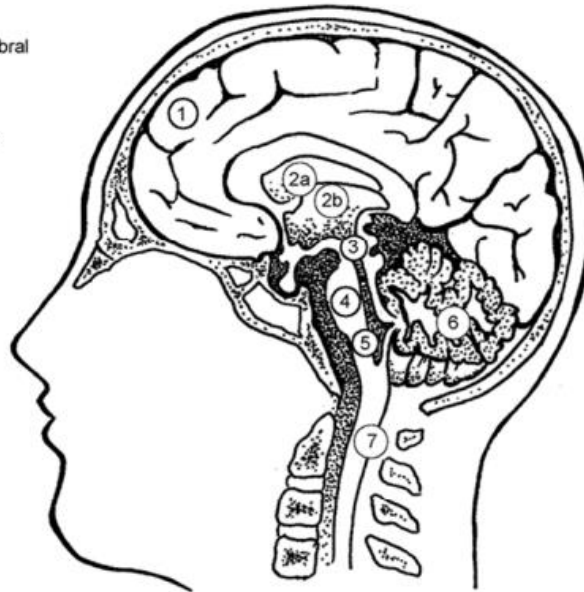
La división del sistema nervioso está compuesta por el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP), cada sistema cumplirá funciones específicas; a grandes rasgos, el SNC es el encargado de procesar información compleja y las funciones de coordinación conectándose con el resto del cuerpo a través del SNP, creando un feedback de información entre ambos.

El SNP está formado por nervios y ganglios, a su vez se divide en dos partes anatómicas funcionales, la parte somática o sistema nervioso periférico somático que está formado por 12 pares de nervios craneales y por 31 pares de nervios raquídeos, estos conducen la información aferente que proviene de los órganos sensoriales de la piel, músculos, tendones, huesos y articulaciones, llevando desde el SNC comandos eferentes a los músculos esqueléticos de la cabeza, tronco y miembros; la otra parte denominada como sistema nervioso periférico autónomo se encarga de conectar al SNC con las vísceras y glándulas, controla la actividad contráctil cardíaca y respiratoria, la musculatura lisa del intestino, vasos y pelos y la actividad de las glándulas de secreción externa; según su división anatómica y funcional, este último sistema mencionado, participa en la preparación del organismo para la acción y es psicológicamente activadora (simpática) y posee una función de conservación y reparación de las reservas y tejidos del organismo, actuando durante el reposo y psicológicamente relajadora (parasimpática).

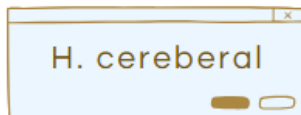
El SNC se encuentra dentro de las cavidades óseas, envuelto por las meninges y líquido cefalorraquídeo. Compuesto por dos porciones, la mayor, el encéfalo, ubicado dentro del cráneo y constituido por el cerebro, tronco cerebral y cerebelo. La segunda porción la constituye la médula, localizada dentro de la columna vertebral. Dentro del SNC se distinguen zonas claras (sustancia blanca) y zonas más oscuras (sustancia gris), formada por fibras, axones de neuronas, envueltos en mielina la cual provee el color blanquecino y compuesta por cuerpos neuronales y elementos de sostén respectivamente.

A nivel macroscópico se destacan 7 estructuras pertenecientes al SN: hemisferios cerebrales, diencefalo (tálamo, hipotálamo), mesencéfalo, protuberancia, bulbo, cerebelo y médula.

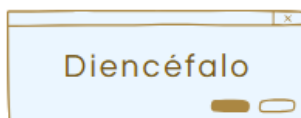
- 1 Hemisferio Cerebral
- 2 Diencefalo
a Talamo
b Hipotalamo
- 3 Mesencéfalo
- 4 Protuberancia
- 5 Bulbo
- 6 Cerebelo
- 7 Medula



Se presenta un gráfico por cada estructura y su respectiva función:

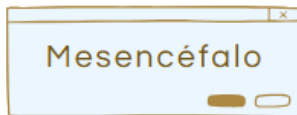


Se relacionan con las funciones sensoriales, cognitivas, mnésicas, y emocionales, así como con la planificación, monitoreo y control de la conducta.

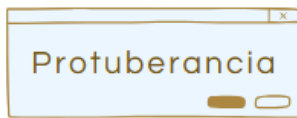


Tálamo: procesa, modula y distribuye la mayor parte de la información sensorial y motora que entra o sale de la corteza cerebral. Está vinculado con la formación reticular del tronco encefálico y participa en la regulación del alerta y la atención. También está vinculado al procesamiento emocional y de la memoria.

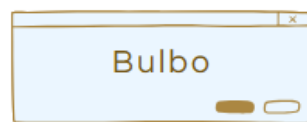
Hipotálamo: se encarga de la regulación de la ingesta de agua y alimentos, aspectos de la conducta sexual y maternal, algunos de sus acciones las ejerce mediante el control de la glándula pituitaria (hipófisis).



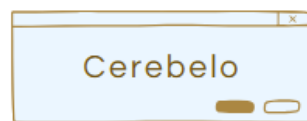
Une el tronco con el cerebro. Contiene parte de los núcleos que coordinan la motilidad ocular y núcleos importantes que forman parte de circuitos que intervienen en el control motor general. Participa en la regulación del alerta, la atención, el sueño y en el control del tono de los músculos esqueléticos. Es también una estación de relevo en las vías visual y auditiva.



Contiene núcleos que sirven para el intercambio de información sobre el movimiento y la sensibilidad entre cerebro, cerebro y médula. Contiene una parte de los núcleos que coordinan la motilidad ocular y los núcleos que controlan el movimiento de la cara.



Contiene núcleos grises que participan en la regulación de la presión sanguínea y la respiración, contiene parte de los núcleos que participan en el gusto, la audición y el equilibrio.



Recibe entradas sensoriales desde la médula espinal, información motora que le llega desde la corteza cerebral e información del sentido del equilibrio proveniente de los órganos vestibulares del oído. Cumple un papel esencial en la coordinación de los músculos esqueléticos durante el mantenimiento de la postura y el movimiento y en el aprendizaje de hábitos motores complejos. Juega un papel importante en la automatización de procesos motores y cognitivos.



Recibe información sensitiva desde la piel, músculos, articulaciones y vísceras, emite fibras motoras que inervan los músculos y fibras eferentes de las divisiones del sistema nervioso autónomo.

Las tres principales formaciones grises que posee el cerebro son el cuerpo estriado, el complejo amigdalino y el hipocampo.

El cuerpo estriado está compuesto por los núcleos putamen, globo pálido y caudado, poseen funciones principalmente motoras. El complejo amigdalino se relaciona con la conducta emocional, sobre todo miedo y furia. El hipocampo es un repliegue de corteza, se relaciona con la memoria. Ferreres, A., & de Neurofisiología, C. I. (2022).³

³ Ferreres, A., & de Neurofisiología, C. I. (2022). Anatomía del sistema nervioso humano. *Anatomía del sistema nervioso humano*, 23. Disponible en: https://www.psi.uba.ar/academica/carrerasdegrado/psicologia/sitios_catedras/obligatorias/048_neuro1/cursada/descargas/old/practico_1.pdf Recuperado: 17/10/2024.

10.2 Enfermedad del Parkinson

Celaya, L. V., Rodríguez, A. T., Pérez, J. R. G., Márquez, G. M., Cárdenas, M. R. T., Castilla, P. C., ... & Hernández, L. G. (2019)⁴ dicen que “La enfermedad de Parkinson es una afección crónica y neurodegenerativa de evolución lenta que afecta el sistema nervioso central, se ha relacionado con neuroinflamación y degeneración prematura, progresiva e irreversible de las neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra, lo cual lleva a la presencia de trastornos motores; esta enfermedad tiene una incidencia mayor entre los 45 y 70 años y resulta ser la segunda enfermedad neurodegenerativa más común después de la enfermedad de Alzheimer. El 90% de los casos suelen presentarse de manera esporádica y el 10% restante suele ser de origen genético.”

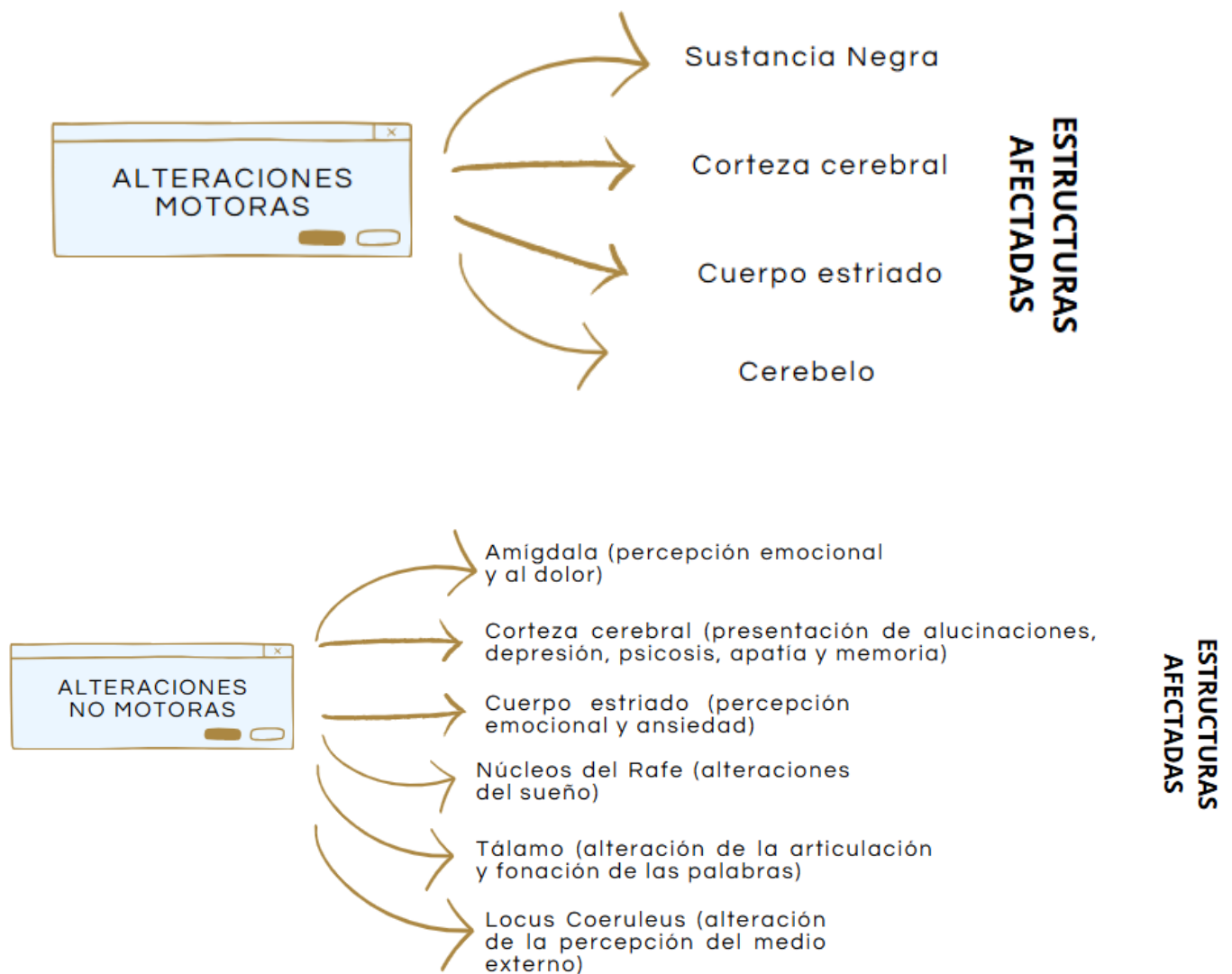
Los ganglios basales mencionados en el apartado anterior incluidos también la sustancia negra desarrollan un papel fundamental en la fisiopatología del Parkinson. El estriado se encargará de recibir las señales de la corteza cerebral, mientras que el globo pálido y la sustancia negra son las principales salidas.

La proteína alfa - sinucleína forma los cuerpos de Lewy que se encargan de irrumpir la integridad celular, provocando así la muerte neuronal. Se encuentran principalmente en los ganglios basales y también en el nervio vago y bulbo olfatorio. La degeneración de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra, provocada por estos cuerpos reduce los niveles de dopamina del núcleo estriado. Una vez manifestado los síntomas de la patología, se cree que se ha perdido el 60% de las neuronas dopaminérgicas y los niveles de dopamina en el núcleo estriado disminuyen un 80%. Morales, K. P. C., Elizondo, D. S. P., & Fernández, R. V. (2022)⁵

Las estructuras centrales implicadas en las alteraciones de la enfermedad del Parkinson se pueden clasificar según su sintomatología, siendo esta motora o no motora.

⁴ Celaya, L. V., Rodríguez, A. T., Pérez, J. R. G., Márquez, G. M., Cárdenas, M. R. T., Castilla, P. C., ... & Hernández, L. G. (2019). Enfermedad de Parkinson más allá de lo motor. *Revista eNeurobiología*, 10(23). Disponible en: <https://eneurobiologia.uv.mx/index.php/eneurobiologia/article/view/2542> Recuperado: 2/11/2024.

⁵ Morales, K. P. C., Elizondo, D. S. P., & Fernández, R. V. (2022). Enfermedad de Parkinson. *Revista Médica Sinergia*, 7(2), 5. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8379240> Recuperado: 2/11/2024.



Merello, M. (2008)⁶ describe los siguientes trastornos no motores en la enfermedad del Parkinson:

- **Depresión:** aparece antes que los síntomas motores, se la considera como factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad de Parkinson (EP), asociándose a un trastorno orgánico ya que afecta a los circuitos mesolímbicos. La depresión en EP no es una reacción psicológica, sino una condición clínica asociada a la afectación del mesencéfalo ventral.
- **Apatía:** se caracteriza por falta de interés, motivación, concentración, fatiga y tendencia a la incomunicación. Está estrechamente relacionada con la depresión y la demencia en la EP.
- **Ansiedad:** incluyen ataques de pánico, agorafobia, fobia social y ansiedad asociada al trastorno obsesivo compulsivo. un tipo de ansiedad es el "miedo a las caídas", que afecta a casi el 40% de los pacientes.

⁶ Merello, M. (2008). Trastornos no motores en la enfermedad de Parkinson. *Revista de neurología*, 47(5), 261-270. Disponible en: <https://www.imrpress.com/journal/RN/47/5/10.33588/rn.4705.2008266>
Recuperado: 12/11/2024.

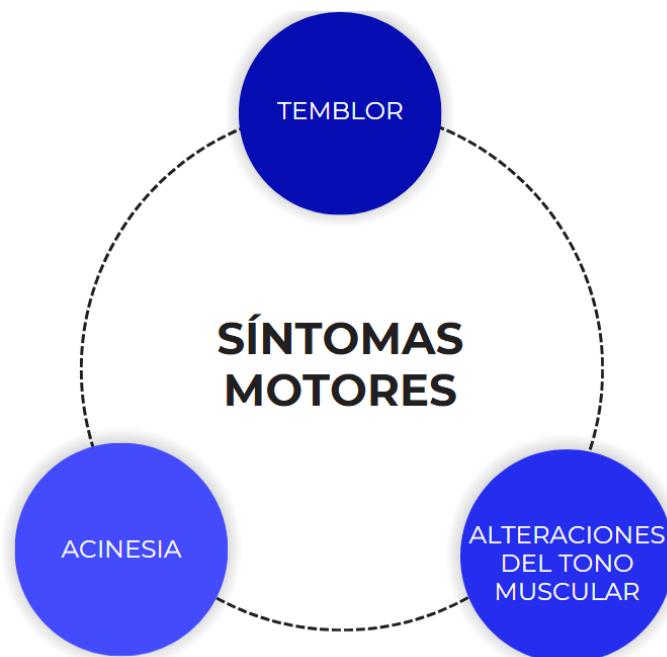
- Demencia: la demencia en la EP debe basarse en ciertos criterios clínicos como la aparición de sus signos después de los síntomas motores, deterioro cognitivo evidente que afecta la vida diaria y la afectación de al menos dos dominios cognitivos. La incidencia de demencia aumenta con el avance de la enfermedad caracterizándose por un síndrome disejecutivo, alteraciones de las habilidades visuoespaciales y problemas de memoria.
- Trastornos del sueño: aumento en la latencia del sueño, mayor despertares nocturnos y frecuencia de siestas diurnas. afectan a un 60 - 98% de los pacientes, siendo el 40% que requiere de medicación para dormir.
- Disfunción autonómica: se relaciona con cambios neuropatológicos que afectan el hipotálamo, los sistemas simpático y parasimpático, innervación del intestino, corazón y pelvis. Incluye síntomas cardiovasculares, gastrointestinales, urinarios, de termorregulación, motilidad pupilo métrica y función sexual.
- Síntomas gastrointestinales: incluye disfagia, sialorrea, rinorrea, pérdida de peso y estreñimiento.
- Síntomas sensoriales: dolor, diplopía, hiposmia, seborrea.

Dentro de los síntomas motores Chávez-León, E., Ontiveros-Urbe, M. P., & Carrillo-Ruiz, J. D. (2013)⁷ destacan los siguientes:

- Temblor: es el síntoma más común al inicio de la enfermedad, predomina en manos, pero también puede afectar a extremidades inferiores y en otros casos a los músculos de la mandíbula y la lengua.
- Alteraciones del tono muscular: tanto flexores como extensores se ven afectados provocando alteraciones en el tono muscular. Incluye aumento del tono en reposo, disminución de la distensión durante la movilización pasiva, mayor resistencia a la extensión y facilidad para la flexión. también puede presentar en etapas avanzadas de la enfermedad alteraciones en el habla.
- Acinesia: hace referencia a la ausencia de movimiento y se puede manifestar de 3 formas:
 - a) Hipocinesia: manifiesta reducción en la frecuencia y amplitud de los movimientos espontáneos (parpadeo, expresiones faciales, braceo al caminar, escritura).
 - b) Marcha parkinsoniana: expresa una postura encorvada, pasos más cortos y dificultades para iniciar el movimiento.

⁷ Chávez-León, E., Ontiveros-Urbe, M. P., & Carrillo-Ruiz, J. D. (2013). La enfermedad de Parkinson: neurología para psiquiatras. *Salud mental*, 36(4), 315-324. Disponible en: https://www.scielo.mx/scielo.php?pid=S0185-33252013000400006&script=sci_arttext Recuperado: 12/11/2024.

- c) Bradicinesia: se presenta lentitud en los movimientos con progresiva disminución de su amplitud. La persona que lo padece posee dificultades para realizar movimientos secuenciales o simultáneos.



10.3 Generalidades de la Medicina Nuclear: concepto, elución y uso del generador

La Medicina Nuclear es una rama de las bioimágenes donde se emplea una sustancia radioactiva dentro del organismo la cual genera imágenes mediante radiación electromagnética, diferenciándose de otros métodos donde la radiación es la que atraviesa el cuerpo.

La sustancia va a emitir radiación gamma en todas las direcciones del espacio, solo la parte que incide en el detector va a generar la imagen de la distribución interna de la sustancia.

Aporta información de los procesos metabólicos alterados del organismo vivo, se necesita una pequeña cantidad de sustancia para generar una señal que sea interpretada por los equipos.

El significado de la imagen generada dependerá del radiofármaco utilizado, la marcación de este, la vía de administración y el tiempo posterior a la administración donde se adquirieron las imágenes.

Cuando existe un acúmulo anormal de sustancia radioactiva en una zona del cuerpo u órgano, nos encontramos ante la presencia de una lesión, ya sea por aumento de la concentración del radiofármaco (hipercaptación) o disminución/ausencia de este (hipocaptación).

La elución es el proceso de obtención del radionucleido hijo. Este proceso se dará a través de un generador que permite obtener un radio nucleído de $T_{1/2}$ corto (radionucleido hija Tc 99m) a partir de la desintegración de otro radio nucleído de vida más larga (radionucleido madre Mo99).

Para que la elución sea exitosa debe cumplir los siguientes requisitos:

- Períodos de semi desintegración $T_{1/2}$ distintos.
- Propiedades de ambos nucleídos diferentes para permitir una separación entre ambos.

“Uso del generador:

- 1) Retirar los frascos bacteriostáticos que protegen las agujas. (fig. 1).
- 2) Conectar en la aguja doble un frasco de solución fisiológica estéril. (fig. 2).
- 3) Conectar en la guja simple un frasco evacuado estéril previamente blindado con un “blindaje de elución”. (fig. 3).
- 4) Al cabo de un breve lapso de tiempo deberá observar que la solución fisiológica ha sido succionada completa e inmediatamente después deberá escuchar un abundante y energético burbujeo en el frasco blindado. (fig. 4).
- 5) Retirar el frasco de solución fisiológica vacío, el frasco evacuado con el blindaje de elución y restituir los frascos bacteriostáticos. Es importante realizar estas operaciones en el orden indicado. (fig. 5).
- 6) Es recomendable usar un segundo frasco evacuado para asegurarse un buen secado de la

columna. Todo secado siempre debe realizarse antes de restituir los frascos.”⁸



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

⁸ Lic. Nancy Di Buono

10.4 Tomografía por Emisión de Positrones

Borrajo-Sánchez, J., & Cabrero-Fraile, F. J. (2010)⁹ definen a la tomografía por emisión de positrones "PET" como una técnica de imagen molecular no invasiva que utiliza radiofármacos para obtener imágenes de procesos biológicos y bioquímicos en vivo, la cual realiza estudios dinámicos y mide la actividad metabólica celular a lo largo del tiempo, posibilitando mediciones precisas fisiológicas y reconstrucciones tridimensionales de la distribución del radionucleido en el cuerpo.

Existen diversos radionucleidos emisores de positrones como el ^{11}C , ^{18}F , ^{15}O y ^{13}N , entre otros. Por ejemplo, el ^{18}F – FDG, luego de su administración permite visualizar el metabolismo de la glucosa en el organismo. La detección se basa en un proceso de la aniquilación de positrones con electrones, la cual genera radiación captada por cristales de centelleo, obteniendo así una imagen tridimensional de la distribución del radionucleido.

El PET presenta mayor sensibilidad que la cámara gamma, no necesita colimadores externos, su resolución espacial va a depender del tamaño de los cristales, el recorrido del positrón antes de la aniquilación y la distancia entre el detector y el punto de emisión. A su vez, el PET, presenta limitaciones en lo que respecta a la localización anatómica precisa, por tal motivo suele combinarse con TC o RM, desarrollándose equipos que integran PET y TC/RM.

“Explicado detalladamente el principio físico del PET consiste en:

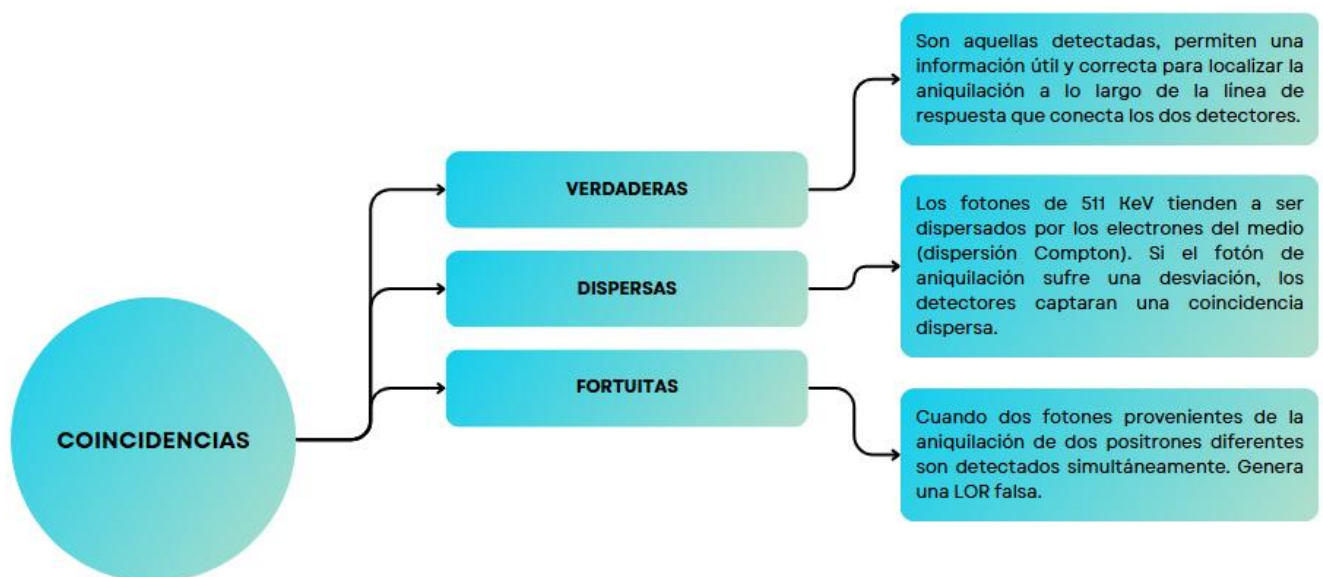
- Utilización de isótopos radiactivos emisores de positrones o partículas B^+ .
- El isótopo más utilizado es el flúor 18 (^{18}F). este isótopo es producido en un ciclotrón por bombardeo con protones en un blanco de oxígeno 18 (^{18}O).
- El ^{18}F se desintegra en ^{18}O y emite un positrón de energía $\text{B}^+ = 634 \text{ keV}$.
- Este positrón tiene una energía cinética que será disipada por colisión con electrones.
- El periodo del ^{18}F es de 110 min.
- El positrón emitido se aniquilará con un electrón de la materia.
- El encuentro entre la partícula de materia y de antimateria generará la creación de dos fotones gamma de 511 keV cada uno.
- La emisión de estos dos fotones se hace en la misma dirección pero en sentido opuesto, es decir en $180^\circ (+ - 2^\circ)$ con el fin de respetar el principio de conservación de la cantidad de movimiento de la carga eléctrica (e^+ , e^-).
- Tendremos así la desaparición de la materia y la creación de energía, y es a los que llamamos

⁹ Borrajo-Sánchez, J., & Cabrero-Fraile, F. J. (2010). Tomografía por emisión de positrones (PET): fundamentos y limitaciones tecnológicas. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 85(4), 129-130. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0365-66912010000400001&script=sci_arttext&tlng=en Recuperado: 11/01/2025.

una reacción de aniquilación.

- La débil variación del ángulo en la trayectoria de los fotones de 511 KeV (180 ± 2) es un factor que limita la resolución espacial, esencialmente en los bordes del campo de adquisición.
- La detección en coincidencia o simultánea de dos fotones de 511 keV, indica que ellos provienen de una aniquilación producida en el interior del paciente.
- La detección se dice en coincidencia siempre y cuando cumpla la condición de que los dos fotones sean registrados en un intervalo de tiempo preciso, llamado ventana de coincidencia, este intervalo varía de 4 a 20 nanosegundos.
- Si uno de estos fotones de aniquilación llega después del tiempo predeterminado por la ventana de coincidencia, el evento no será tenido en cuenta y esta información será descartada.”¹⁰

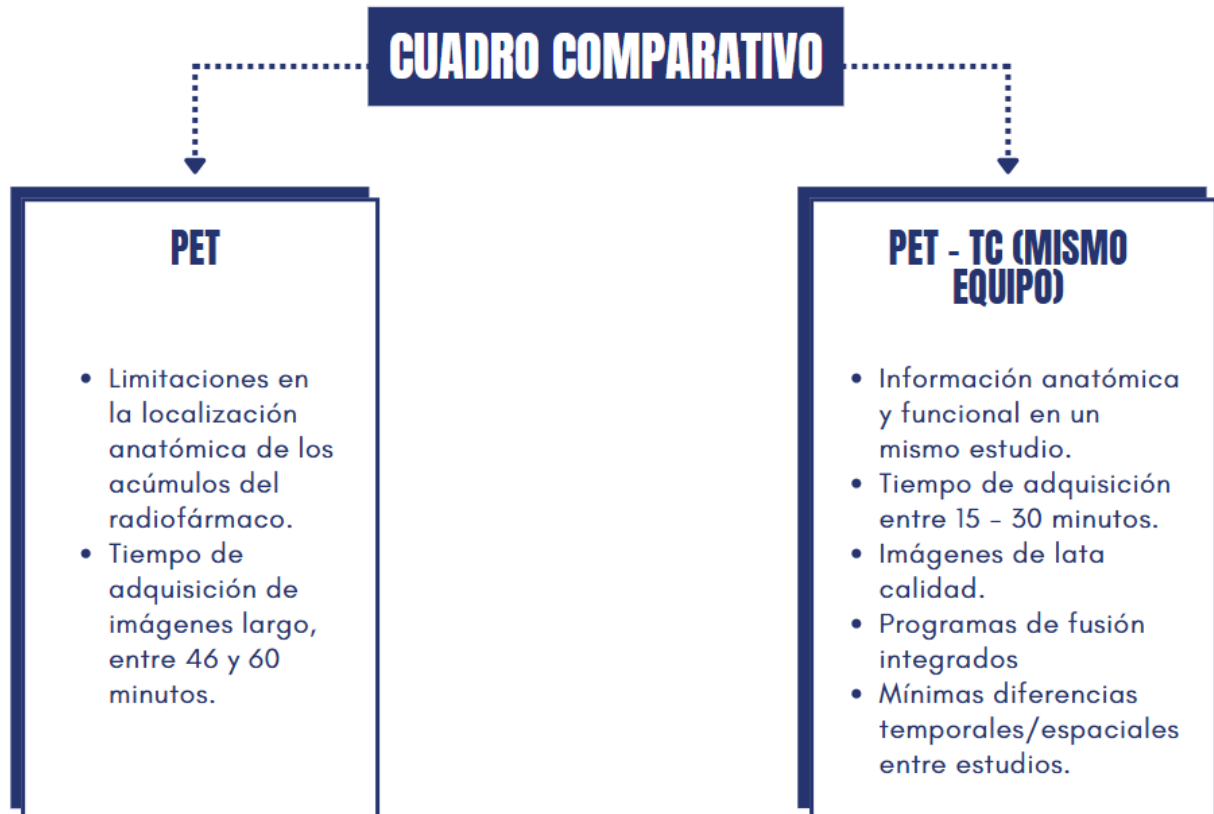
Las coincidencias mencionadas en el punto anterior pueden darse de tres maneras: coincidencias verdaderas, dispersas y fortuitas.



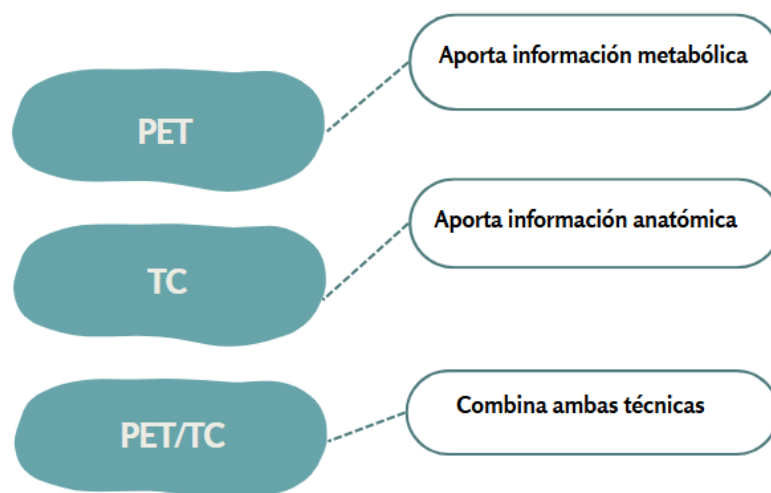
¹⁰ Lic. Nancy Di Buono

10.5 PET – CT

El PET – CT ofrece una visión híbrida del metabolismo y la anatomía del organismo combinando las técnicas del PET (Tomografía por Emisión de Positrones) y la TC (Tomografía Computarizada).



En resumen:



Martí-Climent, J. M., Velloso, M. G., Serra, P., Boán, J. F., & Richter, J. A. (2005)¹¹ presentan el siguiente protocolo de adquisición en un tomógrafo PET/TAC:

- “Preparación del paciente: depende del radiofármaco PET que se emplee, y tiene por objetivo la obtención de un estudio de calidad óptima, maximizando la captación del radiofármaco en los órganos o tejidos de interés y reduciendo al mínimo la actividad en el resto del organismo, mejorándose así la relación señal/fondo y la calidad de la imagen. La preparación del paciente para un estudio en un equipo PET/TAC es similar a la de un estudio PET convencional. Por tanto, deben de tenerse en cuenta las mismas consideraciones sobre el estado de ayunas del paciente, su hidratación, los niveles de glucosa sérica y el uso de relajantes musculares.

En el caso de utilizar FDG, se administra una actividad alrededor de 370 MBq, dependiendo del peso del paciente, de las características del tomógrafo PET y del tiempo de adquisición; permitiéndose la incorporación del radiofármaco durante un periodo de 45 a 60 minutos antes de la realización del estudio.

Su aspecto importante y diferenciador en la preparación del paciente para un estudio en un equipo PET/TAC es la instrucción del paciente sobre el protocolo de respiración que deberá seguir durante la realización del estudio TAC. Este protocolo deberá ser practicado antes de iniciar la adquisición del TAC.

- Posicionamiento del paciente en el tomógrafo: La sustitución de las fuentes de transmisión por un equipo de rayos x hace necesario que el paciente se quite cualquier objeto metálico que porte (pulseras, reloj, ropa con cremalleras, ...) para evitar que al efectuar el estudio TAC se produzcan artefactos “en rayas”. Por otro lado, es conveniente realizar el estudio con los brazos del paciente extendidos por encima de la cabeza, tal y como se realiza en los estudios de TAC convencionales, con el fin de evitar artefactos.

La posición del paciente en la camilla debe ser confortable, para minimizar movimientos involuntarios durante la realización de los estudios, que llevarían a un error en el corregistro de las imágenes PET y TAC, además de una incorrecta asignación de la atenuación calculada a partir del TAC. Para evitar estos movimientos se pueden utilizar accesorios o dispositivos de inmovilización.

- Realización de un topograma: el primer paso de una adquisición en un equipo PET/TAC es la realización de un topograma. Esta imagen se obtiene con el tubo de rayos x fijo en una posición, que suele ser anterior, aunque también puede ser posterior, lateral o en una orientación intermedia. Esta adquisición se realiza con un movimiento continuo de la camilla en un rango predeterminado, con el fin de obtener una imagen anatómica similar a una

¹¹ Martí-Climent, J. M., Velloso, M. G., Serra, P., Boán, J. F., & Richter, J. A. (2005). Tomografía por emisión de positrones con un equipo PET/TAC. *Revista Española de Medicina Nuclear*, 24(1), 60-76 Disponible en: <https://www.semnim.es/wp-content/uploads/2019/07/79.pdf> Recuperado: 12/01/2025.

proyección de rayos x, en la que se aprecian las distintas estructuras, sobre la que el operador definirá la extensión axial del estudio PET/TAC en base a la patología del sujeto. El equipo deberá ajustar y mostrar los límites del estudio PET/TAC de modo que la adquisición TAC (con movimiento continuo de la camilla) coincida en extensión con la adquisición del PET (con movimiento discreto de la camilla).

Dependiendo del modelo tomógrafo PET/TAC, los campos de visión y, en consecuencia, de formación de las imágenes TAC y PET, pueden ser distintos (50 cm para el TAC y 60 para el PET). En esta situación es importante verificar que todas las partes del cuerpo queden dentro de la imagen con menor campo de visión, normalmente el TAC. Si esta situación no se corrige, reposicionando al paciente, se podrán generar artefactos de “truncación” en las imágenes reconstruidas.

- Realización del estudio TAC: una vez definido el campo axial del estudio PET/TAC, la camilla del paciente se mueve automáticamente para iniciar el estudio TAC. Este se realiza de manera estándar con la introducción del protocolo específico de respiración durante la adquisición del TAC para hacer coincidir de la mejor manera la imagen TAC con la del PET, que se adquiere con el paciente respirando normalmente, la duración de la adquisición TAC depende de varios parámetros: extensión de la zona explorada, número de coronas del equipo, velocidad de rotación del tubo y de traslación de la camilla. Así, para un estudio de cuerpo entero, la duración suele ser menor de un minuto; reduciéndose considerablemente el tiempo dedicado al estudio de transmisión respecto a la utilización de fuentes de ^{68}Ge , que es de unos 20 – 30 minutos.
- Realización del estudio de emisión PET: una vez finalizado el estudio de TAC, la camilla se desplaza para posicionar al paciente en el campo de visión del tomógrafo PET. El operador determina el momento del inicio de la exploración, así como la dirección de la camilla durante la exploración, que será caudocraneal cuando se quiera disminuir el artefacto producido por la acumulación del radiofármaco en la vejiga. El estudio de emisión de “cuerpo entero” se realiza adquiriendo los sinogramas o proyecciones en las diversas posiciones de la camilla que cubren el rango explorado por el TAC.

El tiempo de adquisición por posición de camilla y el rango explorado determinan el tiempo total de adquisición del estudio de emisión PET, que dependiendo de los equipos puede oscilar entre 10 y 30 minutos. Aunque la calidad de las imágenes mejora con adquisiciones largas, la información diagnóstica no se compromete con tiempos de adquisición cortos, siendo en determinadas situaciones incluso posible la adquisición de un estudio de cuerpo entero en 7 minutos con un equipo PET dotado de cristales LSO15.

- Reconstrucción del estudio PET: las imágenes se reconstruirán utilizando los algoritmos de

reconstrucción disponibles en los tomógrafos PET, pero con las correcciones de dispersión y atenuación determinadas a partir de las imágenes del TAC.

La reconstrucción de las imágenes TAC se realiza simultáneamente (en paralelo) a la adquisición del PET. Como el tiempo de reconstrucción de cada corte de TAC es inferior a 1 segundo, las imágenes TAC están disponibles para determinar la corrección de los fotones dispersos y de los factores de corrección de la atenuación durante la adquisición PET de la primera posición de la camilla; de modo que cuando ésta termina ya están disponibles los FCA. Así, a los pocos minutos de terminar la adquisición de la última posición de la camilla, las imágenes PET ya están reconstruidas y disponibles para su análisis.

- Análisis de las imágenes: las imágenes disponibles para el análisis serán las del PET con y sin corrección de atenuación, así como las imágenes del TAC. El tomógrafo PET/TAC aporta los programas para el análisis simultaneo de estas imágenes corregistradas, así como de la imagen fusión. Fig. 4”

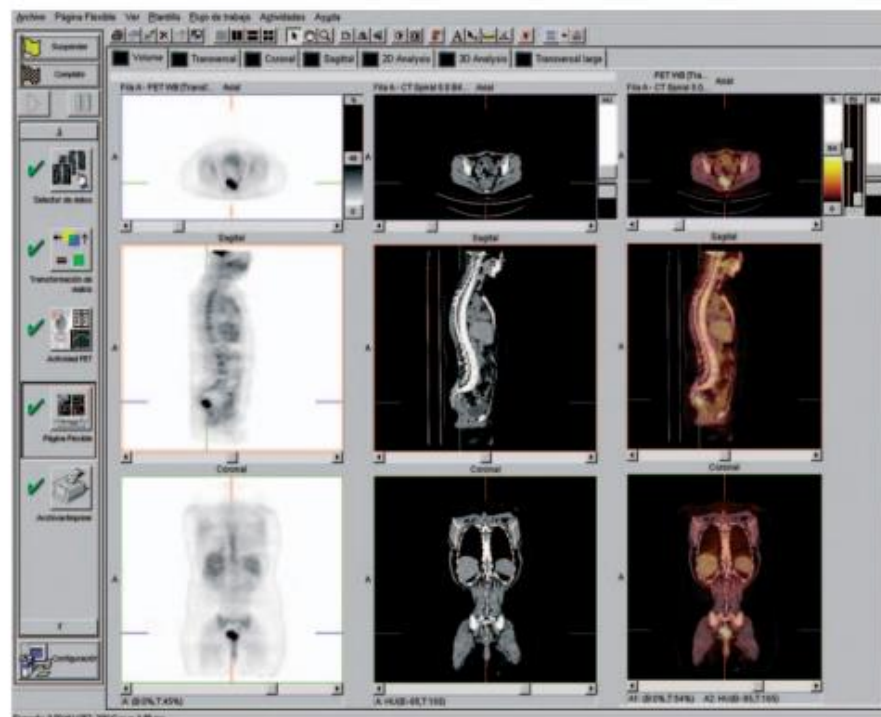


FIG. 4.—Análisis simultáneo de las imágenes PET, TAC y de fusión, en los tres ejes.

10.6 Radiofármacos en PET

Chain, C. Y., & Illanes, L. (2015)¹² explican que los radiofármacos utilizados en PET deben cumplir los mismos requisitos que en Medicina Nuclear, su uso dependerá de la radiomarcación, la cual es más compleja que en SPECT o cámara gamma. En PET se requiere de procesos químicos automatizados en módulos de síntesis; generalmente los radiofármacos llegan ya preparados al servicio y solo es necesario fraccionar las dosis para cada paciente.

Presentan la siguiente tabla donde listan los radionucleidos más utilizados para marcar trazadores PET, su período de semidesintegración y el modo de producción:

Radionucleído	Período de semidesintegración (minutos)	Método de producción
^{11}C	20,3	Ciclotrón
^{13}N	10,0	Ciclotrón
^{15}O	2,1	Ciclotrón
^{18}F	109, 7	Ciclotrón
^{68}Ga	68	Generador ^{68}Ge - ^{68}Ga

Como se ha descrito en los apartados anteriores, el ^{18}F es el radioisótopo más utilizado en PET ya que sustituye grupos OH en sistemas biológicos y posee una semivida adecuada.

Los isótopos emisores de positrones que se utilizan en la clínica, provienen de un ciclotrón; no todos los servicios cuentan con uno, es por esto por lo que se destaca la importancia de que el radioisótopo presente un periodo de semidesintegración suficiente que permita su traslado desde el laboratorio hasta el servicio que lo requiera, siendo el ^{18}F el más empleado por sus características.

Chain C y otros listan los radiofármacos más frecuentemente utilizados para estudios PET junto con su utilidad diagnóstica en la siguiente tabla:

¹² Chain, C. Y., & Illanes, L. (2015). Radiofármacos en medicina nuclear. *Series: Libros de Cátedra*. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46740> Recuperado: 13/01/2025.

Radiofármaco	Utilidad diagnóstica
2- ¹⁸ F- fluoro- 2- desoxi-D- glucosa (¹⁸ F- FDG)	Evaluación del metabolismo de cerebro y corazón. Estudio de tumores
¹⁸ F- fluoruro de sodio (¹⁸ F- NaF)	Estudios óseos
¹⁸ F-dihidroxifenilalanina (¹⁸ F-DOPA) ¹⁸ F-Fallypride ¹⁸ F- desmetoxifallypride (¹⁸ F-DMFP)	Evaluación de enfermedades cerebrales relacionadas con el sistema dopaminérgico
3'- ¹⁸ F-fluoro-3'-desoxi-L-timidina (¹⁸ F-FLT)	Caracterización de tumores
¹⁸ F- colina (¹⁸ F- Ch)	Compuesto específico para el cáncer de próstata, el hepatocarcinoma y algunos tumores cerebrales
¹⁵ O- H ₂ O	Estudio de la perfusión de miocardio y cerebro
¹⁸ F- cloruro de amonio (¹⁸ F- NH ₄ Cl)	Estudio de la perfusión de miocardio

En Argentina, el ¹⁸F – FDG es el único radiofármaco emisor de positrones autorizado por la ANMAT y es empleado en el 95% de los centros. Radiofármacos como el ¹⁸F – NaF, ¹⁸F – fluorocolina y ¹⁸F – fluorodopa son menos frecuentes y requieren permisos especiales de la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Sin embargo, hay ciertos productos marcado con ¹⁸F que son destinados a neuroimágenes. Siendo la dopamina un neurotransmisor con papel fundamental en el movimiento, cognición y emoción, sus receptores se vinculan en enfermedades como el Parkinson, existiendo cinco subtipos de receptores de dopamina (D1 – D5).

El sistema dopaminérgico puede evaluarse con radiofármacos PET tales como ¹⁸F – DOPA (mide la síntesis de dopamina a nivel presináptico), ¹⁸F – Fallypride y ¹⁸F – DMFP (cuantifican los receptores D2 postsinápticos).

10.7 FDOPA

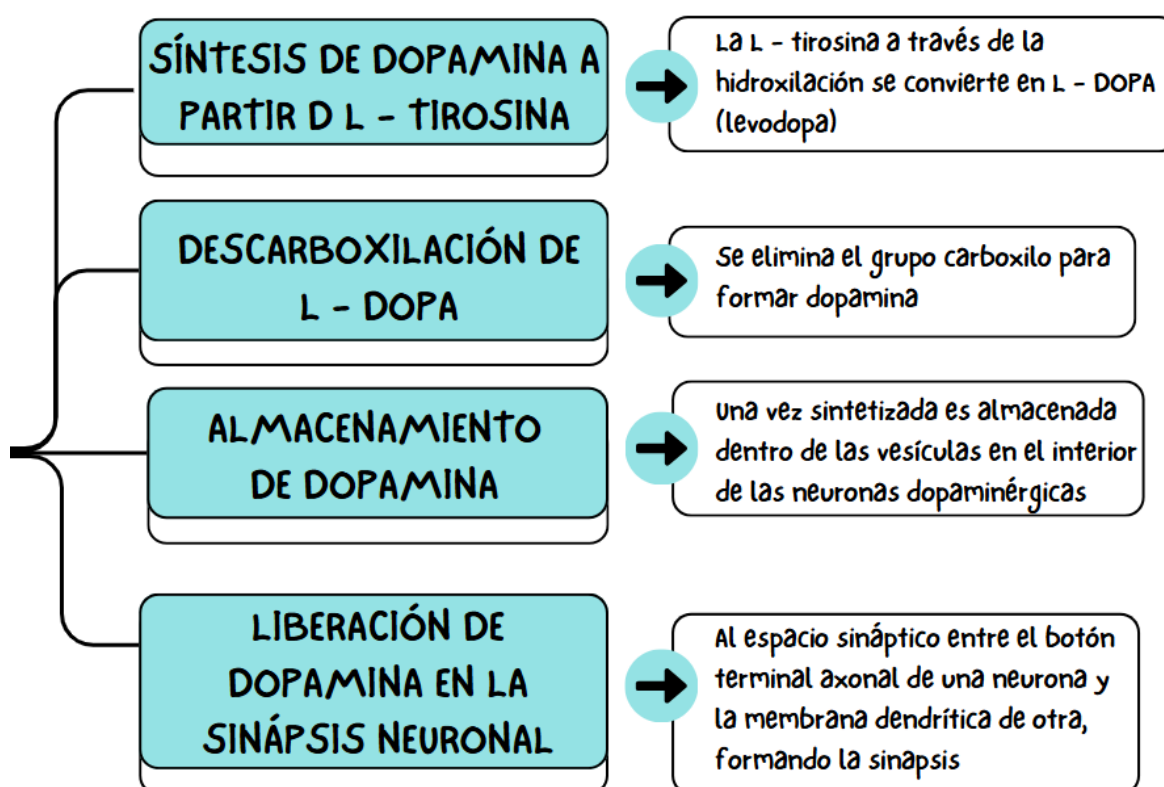
Martino, A. P. (2017)¹³ explica que un ligando adecuado para estudios de neurotransmisión debe cumplir con los siguientes ítems:

- Cruzar la barrera hematoencefálica libremente.
- Tener alta afinidad con el elemento diana y baja capacidad de unión no específica.
- Generar pocos metabolitos que difundan al cerebro desde el plasma.
- Poseer alta actividad específica para evitar la saturación de los elementos diana.

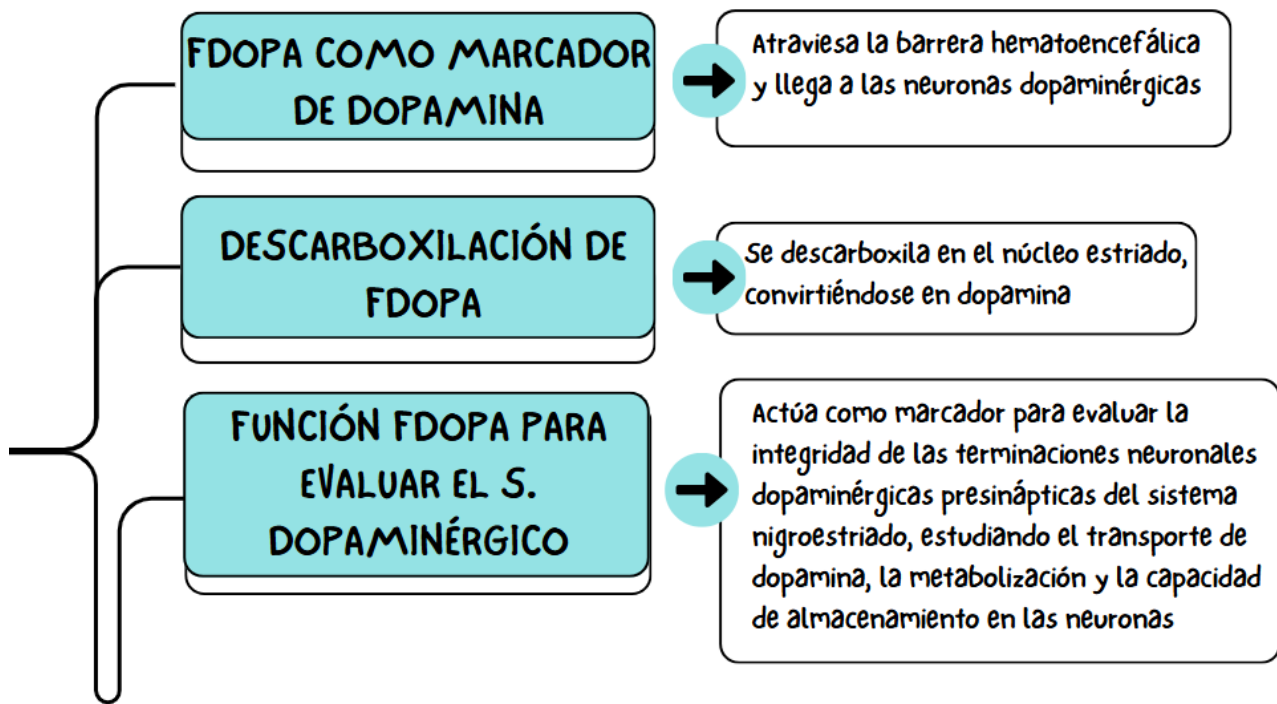
La distribución del trazador refleja la distribución normal del elemento sináptico a estudiar, ya sea este a nivel presináptico, postsináptico o intrasináptico.

La pérdida de neuronas en la sustancia negra en la EP afecta al sistema nigroestriatal y la función de las terminaciones presinápticas. La primera descripción de uso del PET con FDOPA como marcador de las terminaciones dopaminérgicas se realizó en 1983.

La relación entre el F – DOPA y la dopamina se encuentra descrita en el esquema presente a continuación:



¹³ Martino, A. P. (2017). Cuantificación y análisis de la distribución espacial del radiotrazador 18F-DOPA en sujetos con enfermedad de Parkinson mediante el uso de imágenes cerebrales multimodales. Disponible en: <https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/201> Recuperado: 20/01/2025.



Martino continúa describiendo que el FDOPA es el más utilizado para estudiar la EP, caracterizándose por poseer cifras de alta sensibilidad, especificidad, también permite analizar por separado el caudado y el putamen. El estudio de PET con FDOPA ofrece además cuantificar la captación específica absoluta del trazador mediante el valor SUV (Standar Uptake Value).

“Las imágenes funcionales permiten realizar un análisis cualitativo y cuantitativo. Dado el gran contraste estriado/fondo que ofrecen estas imágenes, el análisis cualitativo se ve facilitado, principalmente cuando el daño estriatal se encuentra en etapas avanzadas.

Sin embargo, el uso de radiotrazadores como la FDOPA en etapas tempranas de la EP o el seguimiento de pacientes para determinar la efectividad de un determinado esquema farmacológico requiere el análisis cuantitativo de las imágenes dado que los cambios cualitativos pueden no ser lo suficientemente notorios para el especialista o generar dudas.

La cuantificación de la actividad de la FDOPA en los estriados suele realizarse mediante la selección de regiones de interés (ROIs) en los mismos y en regiones de referencia con baja captación como el cerebelo o los lóbulos occipitales.

Estos índices (relaciones) se conocen como SCR (Striatum-to-cerebellum) y SOR (Striatum-to-occipital cortex) respectivamente.

Dichos índices pueden considerar las captaciones máximas en el estriado y en la referencia (SUVmax) o las captaciones medias en las mismas (SUVmean).

Las regiones de referencia, además de la baja captación de FDOPA, presentan un nivel estable de la misma una vez alcanzado el tiempo para realizar las imágenes según los protocolos utilizados.

La selección de ROIs de manera manual (Fig. 2.4) está sujeta a diversas fuentes de error operador-dependiente. Factores como: 1) Tamaño y forma de las ROIs, 2) elección del corte donde se sitúan las mismas y 3) precisión y referencia anatómica para delimitar apropiadamente las regiones de interés, pueden dificultar la repetitividad de las medidas y la comparación de las mismas obtenidas en diversos centros.” Martino, A. P. (2017).

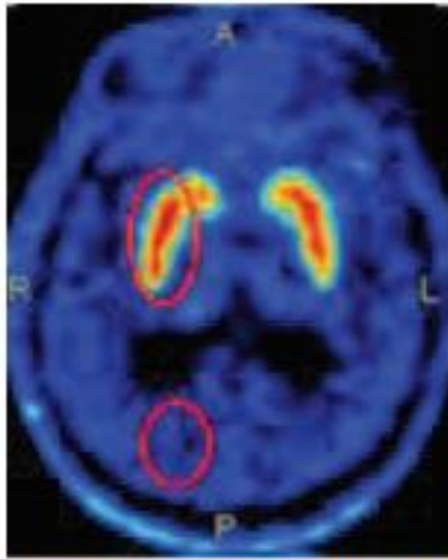
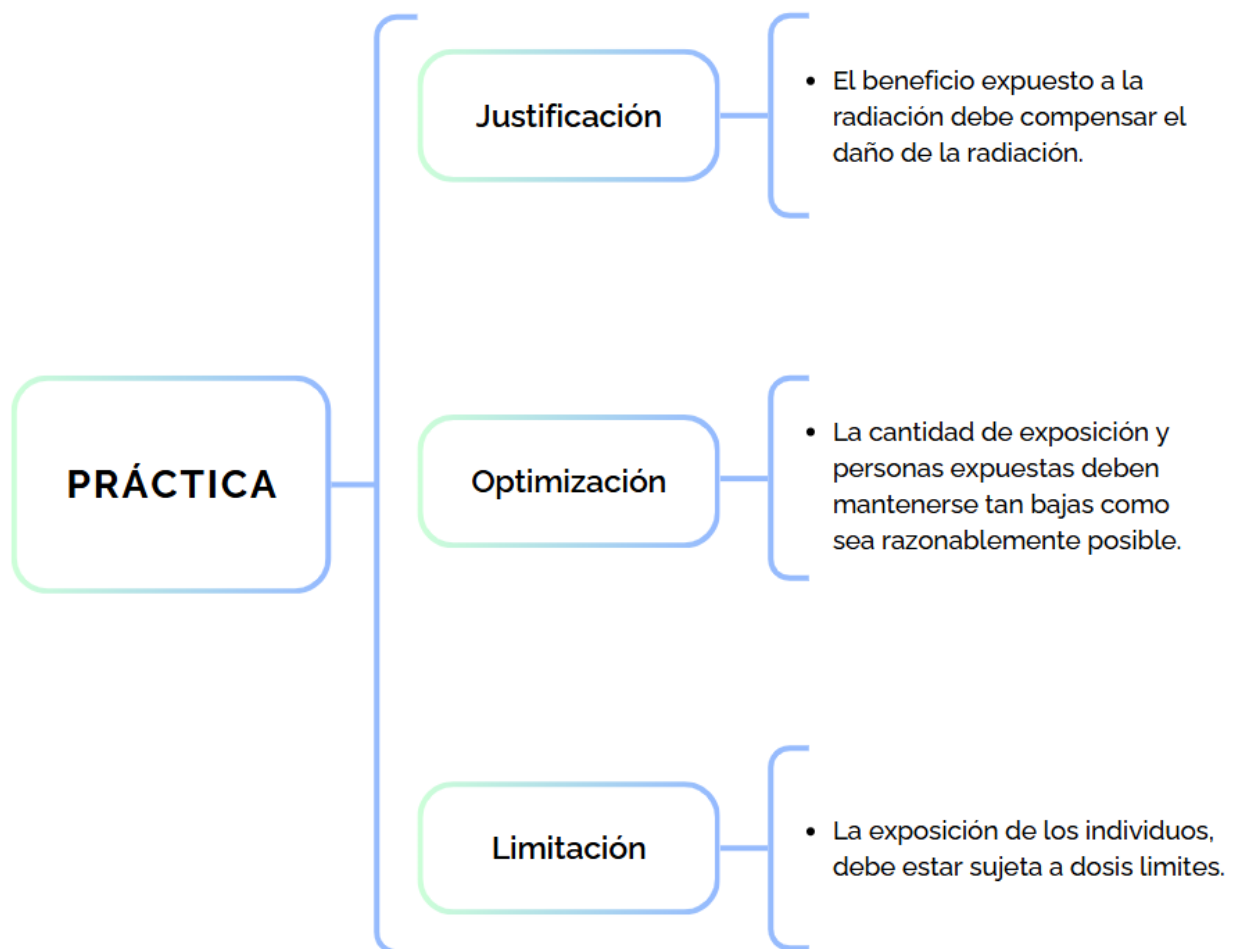
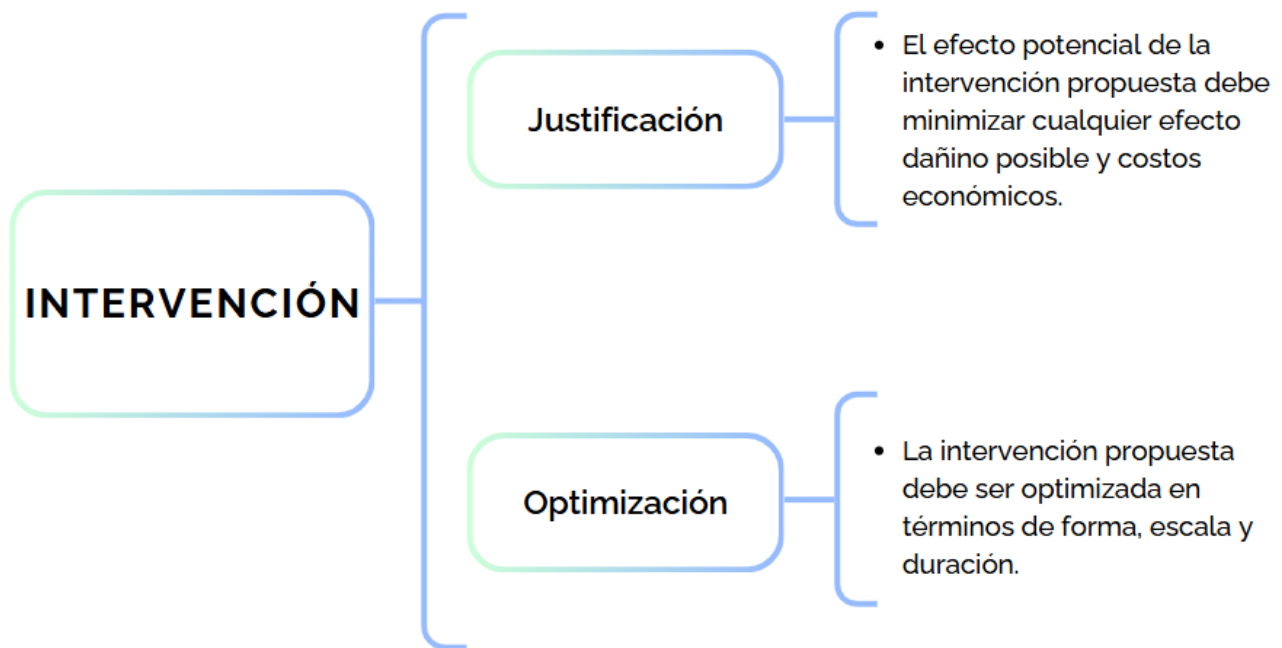


Fig.2.4 Ejemplo de selección de ROIs para la cuantificación de imágenes PET-FDOPA

10.8 Protección radiológica

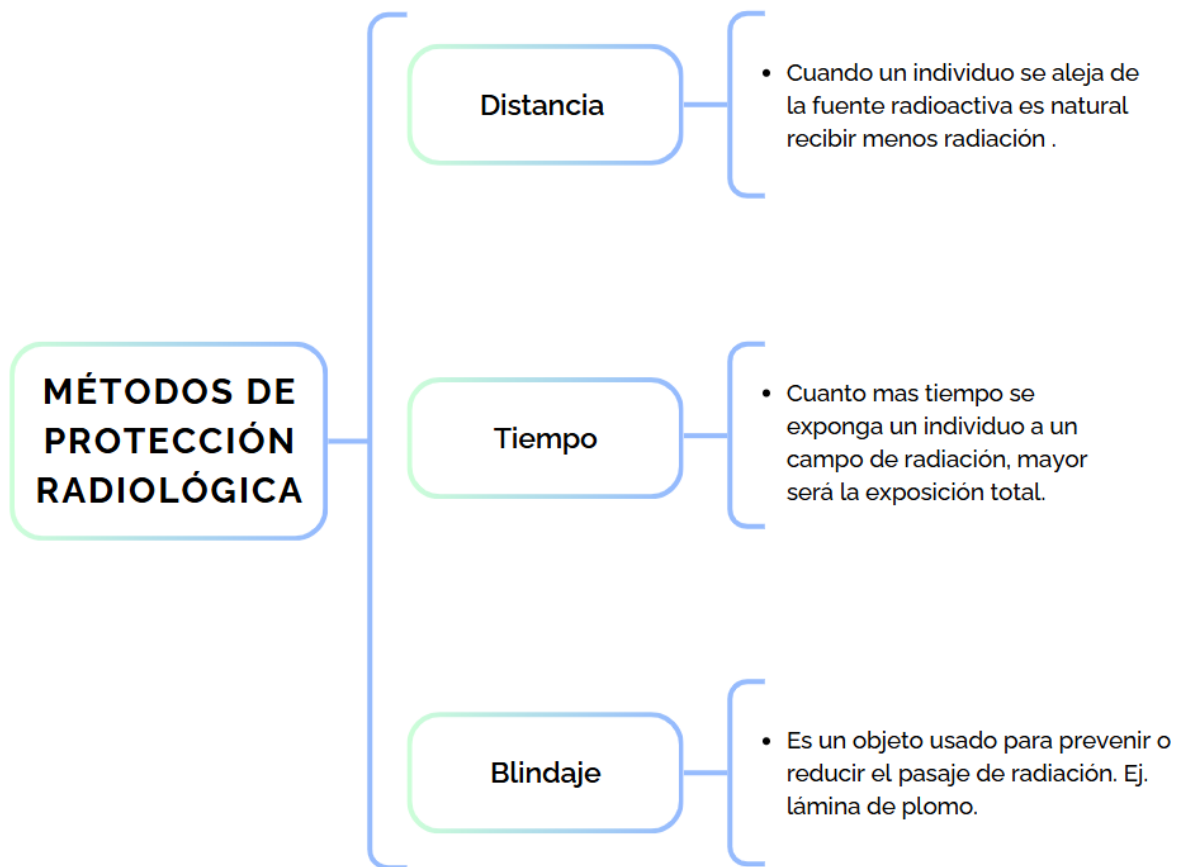
La ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) desarrolló un sistema de protección radiológica que se resume en dos categorías: prácticas, donde el uso de la radiación está sujeto a tres criterios importantes e intervención, medidas para reducir la exposición de fuentes de radiación existentes).





Núñez, M. (2008)¹⁴ explica que el personal de medicina nuclear debe encontrarse alerta a los métodos prácticos de radioprotección, siendo estos la distancia, blindaje y tiempo. El uso adecuado de estos 3 métodos mantendrá al mínimo y dentro de las limitaciones recomendadas el nivel de radiación que el trabajador se encuentra expuesto.

¹⁴ Núñez, M. (2008). Protección radiológica en medicina nuclear. *Montevideo: ALASBIMN*. Disponible en: https://alabimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf Recuperado: 5/02/2025.



En lo que respecta al control de exposición a la radiación del personal Núñez, M. (2008) cita lo siguiente:

“Dado que el riesgo biológico está directamente relacionado con la dosis de radiación a los tejidos, la absorción de material radioactivo debe estar restringida.

- a) Control de la exposición interna. La mayoría de los radionucleidos que se utilizan en medicina nuclear son considerados leve o moderadamente tóxicos con respecto a contaminación interna, sin embargo, una excepción significativa de ^{131}I es considerada altamente tóxica debido a su especificidad por la glándula tiroides.

La exposición interna por ingestión, inhalación o absorción dérmica puede ser satisfactoriamente controlada por prácticas simples y sistemáticas que incluyen:

- vestir túnica o delantal que proteja la ropa en toda área en que se manejen fuentes radioactivas abiertas. Esas prendas protectoras deben ser retiradas antes de abandonar el área apropiada para su uso.
- utilizar guantes en todo momento que se manipule material radioactivo.
- no comer, beber, fumar o aplicar cosméticos en áreas en las cuales se utilice o almacene material radioactivo.

- no almacenar alimentos, bebidas o artículos personales en áreas en las cuales se utilice o almacene material radioactivo.
 - no utilizar la boca con ningún tipo de instrumento tales como pipetas para fraccionar o medir material radioactivo.
 - mantener el área de trabajo libre de contaminación. Realizar semanalmente tests para identificar áreas que requieran descontaminación.
- b) Control de la exposición externa. La exposición externa puede ser controlada por los métodos clásicos de: minimizar el tiempo, maximizar la distancia y utilizar blindajes.
- El factor tiempo puede ser efectivamente utilizado llevando a cabo procedimientos tan eficientemente como sea posible. Los procedimientos nuevos deben ser practicados con material no radioactivo de forma que se adquiera experiencia para poder realizarlos de la manera más rápida posible. Por otro lado, el intentar realizar los procedimientos de forma demasiado rápida puede resultar en derramamientos u otros accidentes que aumentarán el tiempo de exposición.
 - En la práctica, se pueden lograr distancias de trabajo seguras en varios aspectos, manejando los viales con pinzas, almacenando el material radioactivo de desecho en áreas alejadas a las áreas de tránsito del personal, manteniendo la mayor distancia posible con los pacientes inyectados durante los procedimientos.
 - En cuanto a los blindajes, se deben usar ladrillos de plomo, vidrio plomado, protectores de jeringa, contenedores para el almacenaje de material de desecho, valijas plomadas para el transporte de dosis, etc.

Aunque en la rutina de trabajo en medicina nuclear se utilizan distintos tipos de radionucleidos, el problema de la exposición externa está dado en un 90% por el ^{99m}Tc y la principal fuente de exposición es la radiación proveniente de los pacientes inyectados para los procedimientos imagenológicos. La relación de exposición típica es:

- 10-15% por preparación de la dosis,
- 10% por la administración de la inyección,
- 75-80% por el procedimiento de imagen.

Esto implica que una fracción sustancial de la dosis anual de cuerpo entero del tecnólogo es debida a la presencia cerca del paciente durante la realización del estudio. Este componente puede ser reducido en la práctica manteniendo una mayor distancia con el paciente o interponiendo un blindaje entre el paciente y el tecnólogo. También el uso de blindaje para la jeringa reduce considerablemente la dosis en manos y dedos durante el procedimiento de inyección.”

Los límites de dosis según la ICRP para los trabajadores ocupacionalmente expuestos en la práctica de medicina nuclear y radiología son de 5mSv/año y se recomienda además una dosis límite complementaria para las trabajadoras embarazadas que intenta mantener la dosis al feto por debajo de 1 mSv, similar a la del público. Siendo el límite de dosis para miembros del público en general, como se mencionó anteriormente, de 1 mSv/año.

Cabe destacar la utilización de dosímetros personales ya que permite evaluar y documentar el nivel de exposición externa del personal expuesto a la radiación. Estos pueden ser de tipo film fotográfico, termoluminiscente (TLD) o cámara de ionización de bolsillo, debe ser usado en la parte del cuerpo que se estima recibirá la mayor dosis.

11. Marco metodológico

11.1 Tipo de investigación

Se presentarán variables cualitativas en la investigación. A su vez, su diseño es descriptivo, retrospectivo transversal.

11.2 Universo

El universo seleccionado para la presente investigación está constituido por el Centro de Diagnóstico por IMAXE de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

11.3 Población de estudio

La población que se presenta está compuesta por pacientes con sospecha de Parkinson del Centro de Diagnóstico por Imágenes IMAXE de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en el servicio de Medicina Nuclear.

11.4 Muestra

La muestra utilizada en esta investigación se compone de 8 casos de pacientes de ambos géneros con sospecha de Parkinson.

11.5 Criterios de inclusión

- Rango etario: entre los 44 a 74 años.
- Rango temporal: entre los años 2023 a 2024.
- Con sospecha de: Parkinson

11.6 Criterios de exclusión

- Pacientes fuera del rango etario mencionado y aquellos sin sospecha de Parkinson.

11.7 Unidad de análisis

Se tomará como unidad de análisis al radiofármaco ¹⁸Flúor – DOPA mediante las variables propuestas en la investigación.

11.8 Recolección de datos

Los datos fueron extraídos de historias clínicas e informes brindados por el Centro de Diagnóstico por Imágenes IMAXE. El análisis y operacionalización de variables se presentan a continuación.

11.9 Variables

<i>VARIABLE</i>	<i>CLASIFICACIÓN</i>
SENSIBILIDAD DEL RADIOFÁRMACO	CUALITATIVA ORDINAL
ESPECIFICIDAD DEL RADIOFÁRMACO	CUALITATIVA ORDINAL
CAPTACIÓN DEL RADIOFÁRMACO	CUALITATIVA NOMINAL

11.10 Operacionalización de variables

<i>VARIABLE</i>	<i>DEFINICIÓN DE RANGO</i>
SENSIBILIDAD DEL RADIOFÁRMACO	• Alta: detecta/excluye la enfermedad • Baja: genera falsos negativos
ESPECIFICIDAD DEL RADIOFÁRMACO	• Alta: excluye la enfermedad o la distingue de otras similares • Baja: genera falsos positivos
CAPTACIÓN DEL RADIOFÁRMACO	• Normal (N): Captación normal • Patológica (P): Hipocaptación/captación anormal

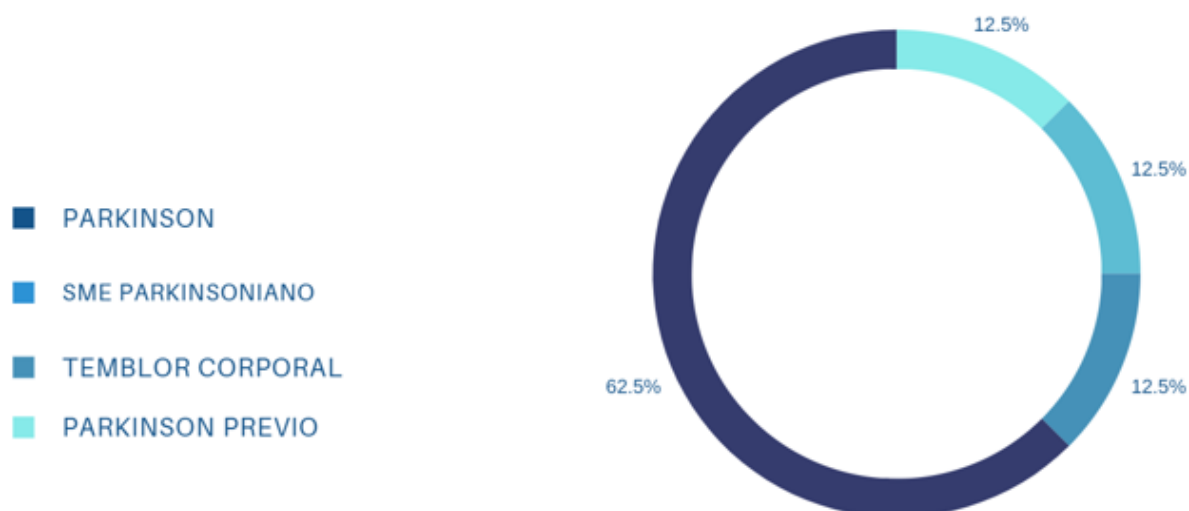
11.11 Análisis de datos

Se detalla el análisis del total de 8 casos a través de las variables mencionadas anteriormente.

	<i>SENSIBILIDAD DEL RADIOFÁRMACO</i>	<i>ESPECIFICIDAD DEL RADIOFÁRMACO</i>	<i>CAPTACIÓN DEL RADIOFÁRMACO</i>
CASO 1	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado Izquierdo: P • Putamen derecho: P • Putamen izquierdo: P
CASO 2	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: P • Putamen izquierdo: P
CASO 3	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: P • Putamen izquierdo: P
CASO 4	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: P • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: P • Putamen izquierdo: P
CASO 5	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: N • Putamen izquierdo: N
CASO 6	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: P • Putamen izquierdo: P
CASO 7	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: N • Putamen izquierdo: N
CASO 8	ALTA	ALTA	• Caudado derecho: N • Caudado izquierdo: N • Putamen derecho: N • Putamen izquierdo: N

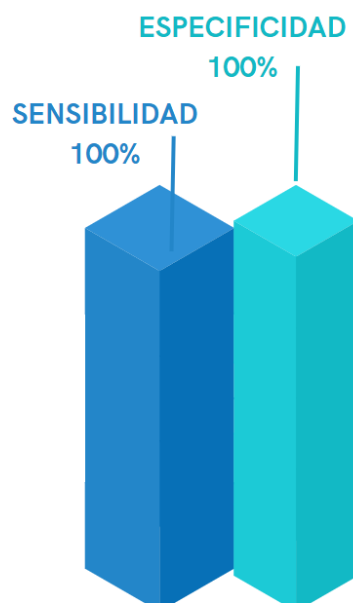
12. Resultados

Para determinar la capacidad que posee el FDOPA de diferenciar el Parkinson de enfermedades similares se presenta un gráfico de la distribución de diagnósticos en los 8 casos analizados, demostrando así la alta especificidad de este.

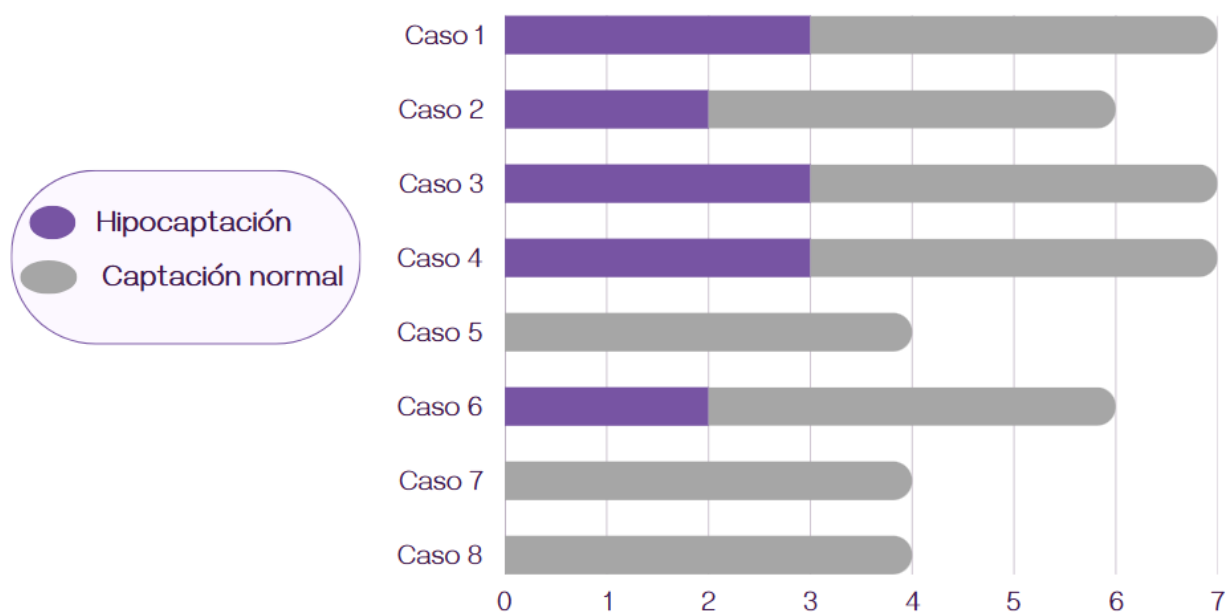


“Distribución de diagnósticos en los casos analizados”

De los 8 casos evaluados se presento en el 100% una alta tasa de especificidad y sensibilidad del radiofármaco FDOPA. Permitiendo como se expuso en el gráfico anterior la diferenciación de patologías similares al Parkinson generando así diagnósticos y seguimientos precisos.



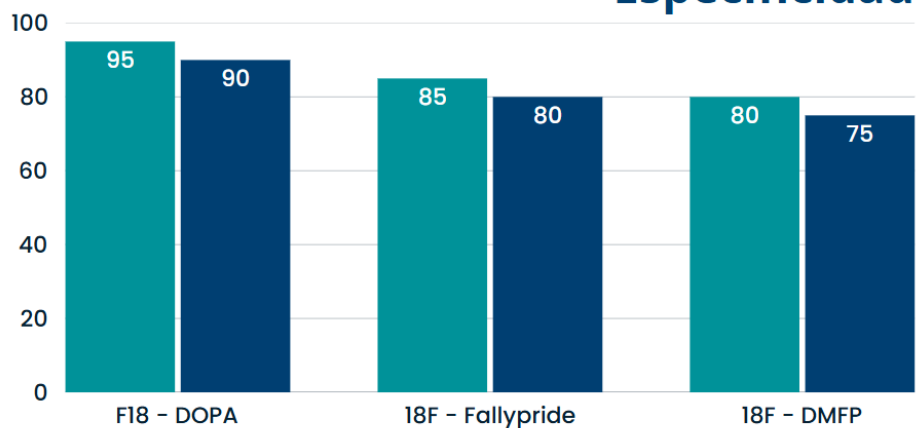
En el siguiente gráfico se representa la captación del radiofármaco por cada caso, según la parte anatómica afectada, a grandes rasgos, donde la parte violeta indica cuantas áreas anatómicas presentan hipocaptación sugiriendo afectación dopaminérgica y la parte gris representa áreas con captación normal.



Realizando una comparativa entre el FDOPA y otros radiofármacos según los datos recogidos en la investigación, se determinó que el mas efectivo es el FDOPA ya que presenta una tasa de 95% de sensibilidad y un 90% de especificidad.

Sensibilidad

Especificidad



13. Discusión

La hipótesis inicial postula que el ^{18}F – Fluordopa es el radiofármaco mas efectivo para la detección y seguimiento del Parkinson. Los resultados afirman esta hipótesis ya que se demostró que el FDOPS permite evaluar la función dopaminérgica la cual se relaciona completamente para una detección temprana y seguimiento de la enfermedad. Se destaco al FDOPA por su capacidad de identificar las alteraciones en los ganglios basales con respecto a la captación de dopamina, punto clave a la hora de evaluar la EP.

Debido a regulaciones específicas de Argentina, el FDOPA presenta como limitación de su uso en PET, el poco alcance/accesibilidad de este en muchos centros médicos. A su vez, se recomienda integrar el PET con otros neuromarcadores como el PET – CT para que el diagnóstico o seguimiento sea determinado por la mejor tecnología posible, brindado esta ultima mencionada una imagen anatómica funcional.

14. Conclusión

En conclusión, el 18F- Fluordopa es el radiofármaco mas efectivo para el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad de Parkinson, presenta alta sensibilidad y especificidad. Su uso en PET se destaca por detectar la enfermedad en etapas tempranas y diferenciar la EP de otras patologías similares, brindando el mejor diagnóstico y tratamiento al paciente para que este obtenga una calidad de vida lo mas favorable posible.

15. **Bibliografía**

- Borrajo-Sánchez, J., & Cabrero-Fraile, F. J. (2010). Tomografía por emisión de positrones (PET): fundamentos y limitaciones tecnológicas. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 85(4), 129-130. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0365-66912010000400001&script=sci_arttext&tlng=en Recuperado: 11/01/2025.
- Celaya, L. V., Rodríguez, A. T., Pérez, J. R. G., Márquez, G. M., Cárdenas, M. R. T., Castilla, P. C., ... & Hernández, L. G. (2019). Enfermedad de Parkinson más allá de lo motor. *Revista eNeurobiología*, 10(23). Disponible en: <https://eneurobiologia.uv.mx/index.php/eneurobiologia/article/view/2542> Recuperado: 2/11/2024.
- Chain, C. Y., & Illanes, L. (2015). Radiofármacos en medicina nuclear. *Series: Libros de Cátedra*. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46740> Recuperado: 13/01/2025.
- Chávez-León, E., Ontiveros-Uribe, M. P., & Carrillo-Ruiz, J. D. (2013). La enfermedad de Parkinson: neurología para psiquiatras. *Salud mental*, 36(4), 315-324. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33252013000400006&script=sci_arttext Recuperado: 12/11/2024.
- Ferreres, A., & de Neurofisiología, C. I. (2022). Anatomía del sistema nervioso humano. *Anatomía del sistema nervioso humano*, 23. Disponible en: https://www.psi.uba.ar/academica/carrerasdegrado/psicologia/sitios_catedras/obligatorias/048_neuro1/cursada/descargas/old/practico_1.pdf Recuperado: 17/10/2024.
- Juri, C., & Wanner, V. (2016). Neuroimágenes en enfermedad de Parkinson: rol de la resonancia magnética, el SPECT y el PET. *Revista médica clínica las condes*, 27(3), 380-391. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864016300384> Recuperado: 6/10/2024.
- Martí-Climent, J. M., Velloso, M. G., Serra, P., Boán, J. F., & Richter, J. A. (2005). Tomografía por emisión de positrones con un equipo PET/TAC. *Revista Española de Medicina Nuclear*, 24(1), 60-76 Disponible en: <https://www.semnm.es/wp-content/uploads/2019/07/79.pdf> Recuperado: 12/01/2025.
- Martino, A. P. (2017). Cuantificación y análisis de la distribución espacial del radiotrazador 18F-DOPA en sujetos con enfermedad de Parkinson mediante el uso de

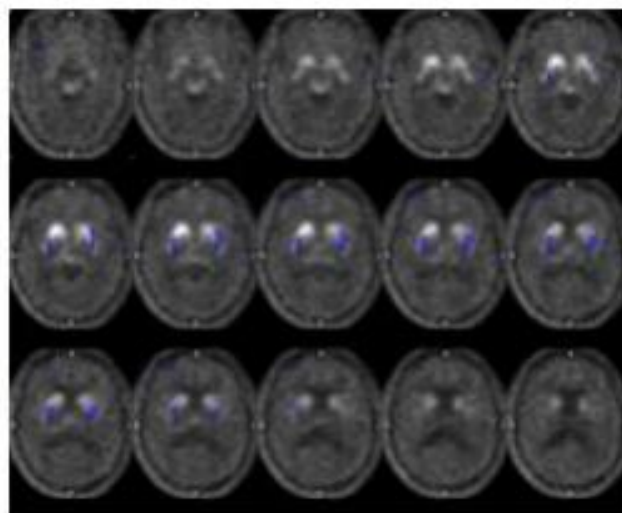
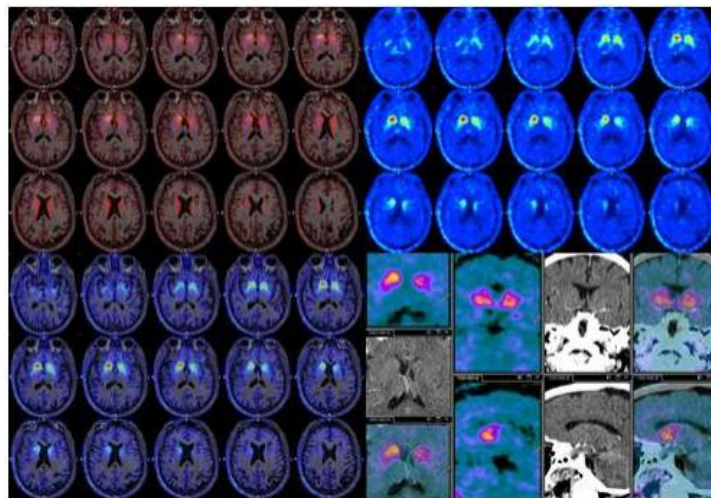
imágenes cerebrales multimodales. Disponible en:
<https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/201> Recuperado: 20/01/2025.

- Merello, M. (2008). Trastornos no motores en la enfermedad de Parkinson. *Revista de neurología*, 47(5), 261-270. Disponible en:
<https://www.imrpress.com/journal/RN/47/5/10.33588/rn.4705.2008266> Recuperado: 12/11/2024.
- Morales, K. P. C., Elizondo, D. S. P., & Fernández, R. V. (2022). Enfermedad de Parkinson. *Revista Médica Sinergia*, 7(2), 5. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8379240> Recuperado: 2/11/2024.
- Núñez, M. (2008). Protección radiológica en medicina nuclear. *Montevideo: ALASBIMN*. Disponible en:
https://alاسبimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf
Recuperado: 5/02/2025.
- Tapia-Núñez, J., & Chaná-Cuevas, P. (2004). Diagnóstico de la enfermedad de Parkinson. *Rev neurol*, 38(1), 61-67. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Pedro-Chana/publication/8379526_Diagnosis_of_Parkinson's_disease/links/54538a540cf2bccc490b191d/Diagnosis-of-Parkinsons-disease.pdf Recuperado: 6/10/2024.

16. Anexos

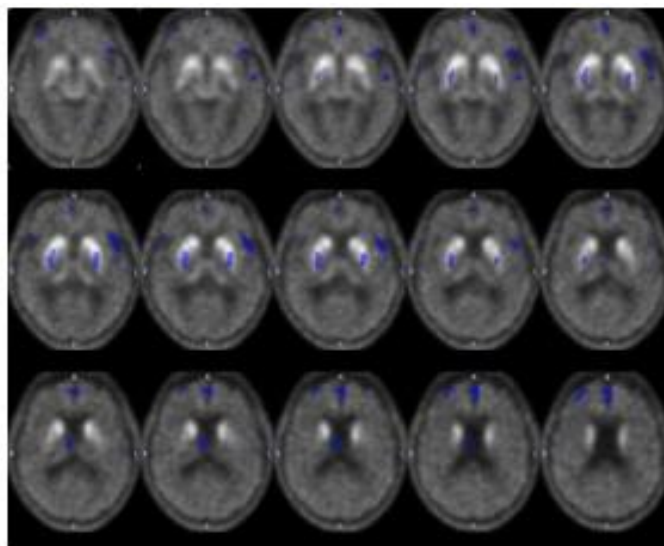
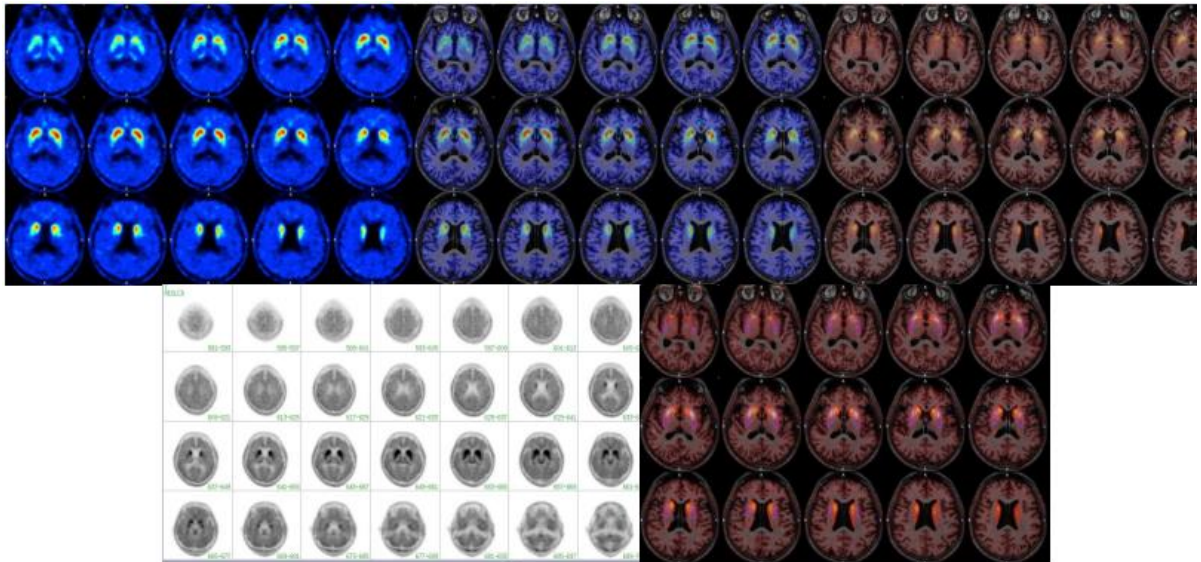
16.1 CASO 1

- Año de historia clínica: 2024
- Edad: 62
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Establecer diagnóstico de Parkinson
- Síntomas: Asintomático
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: Disminución en la concentración de la captación del radiotrazador empleado sobre ambos putámenes, a predominio dorsal y del lado izquierdo. También se observa hipocaptación en la cabeza del núcleo caudado izquierdo. Se adjunta una imagen axial de Zscore de comparación del paciente contra una base de controles. Se observan regiones de hipocaptación significativa (azul) en caudado izquierdo, sector posterior y anterior del putamen izquierdo y sector posterior del putamen derecho.
- Diagnóstico: Parkinson.



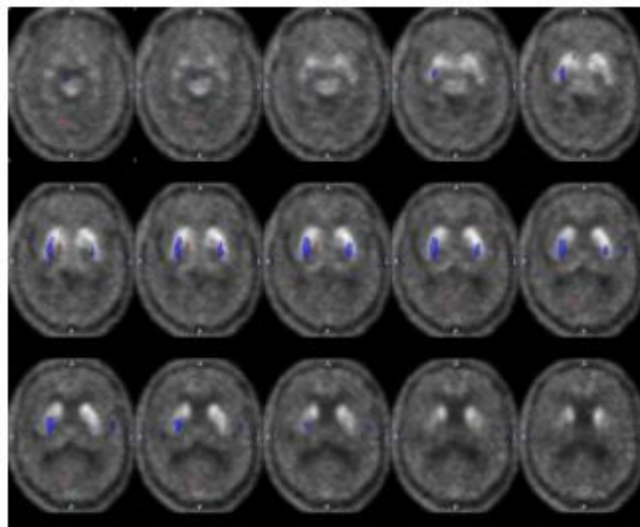
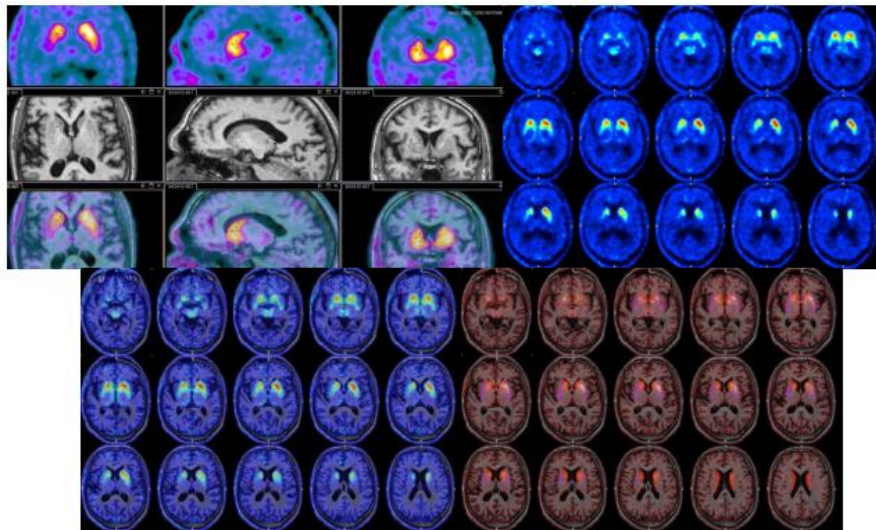
16.2 CASO 2

- Año de historia clínica: 2024
- Edad: 53
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Establecer diagnóstico de Parkinson
- Síntomas: Temblores en manos y piernas, dolor cervical
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: Se reconoce leve disminución en la concentración del radiotrazador empleado sobre el sector posterior de ambos cuerpos estriados, con leve predominio derecho. Se adjunta una imagen axial de Zscore de comparación del paciente contra una base de controles. Se observan regiones de hipocaptación significativa (azul) en sectores posteriores de ambos putámenes.
- Diagnóstico: Parkinson.



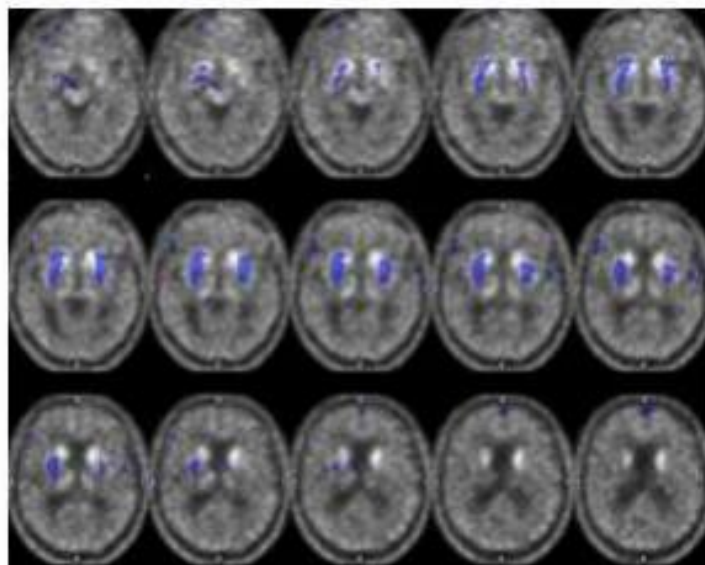
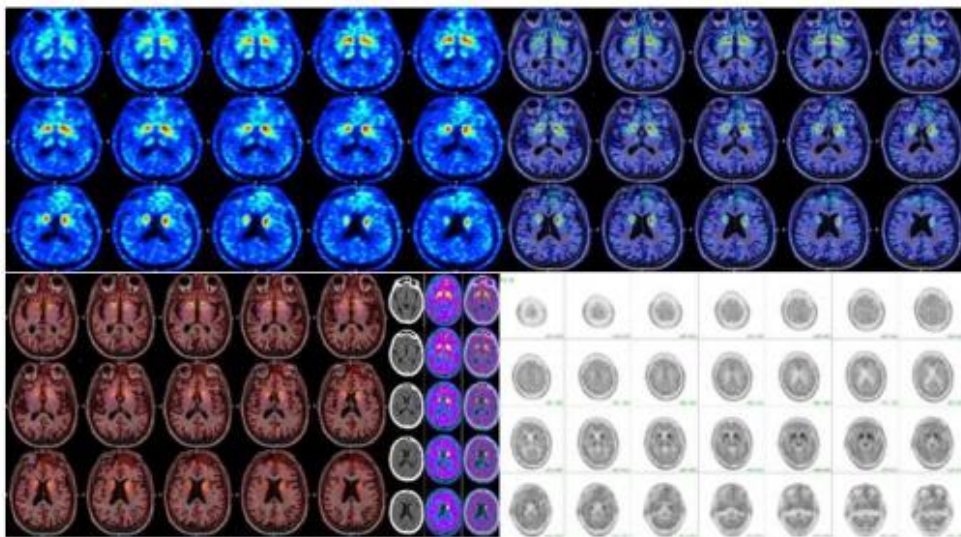
16.3 CASO 3

- Año de historia clínica: 2024
- Edad: 57
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Establecer diagnóstico etiológico de Parkinson
- Síntomas: Dificultad deglutoria y del habla
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: El examen realizado muestra reducción en la concentración del radiotrazador empleado sobre el sector posterior de ambos núcleos putámenes, a predominio derecho. No se reconocen alteraciones significativas en el metabolismo de ambos núcleos caudado. Se adjunta una imagen axial de Z-score de comparación del paciente contra una base de controles. Se observan regiones de hipocaptación significativa (azul) en sectores posteriores y anteriores del putamen derecho y en sector posterior del putamen izquierdo. Se observan también leves regiones de hipocaptación en caudado derecho.
- Diagnóstico: Parkinson.



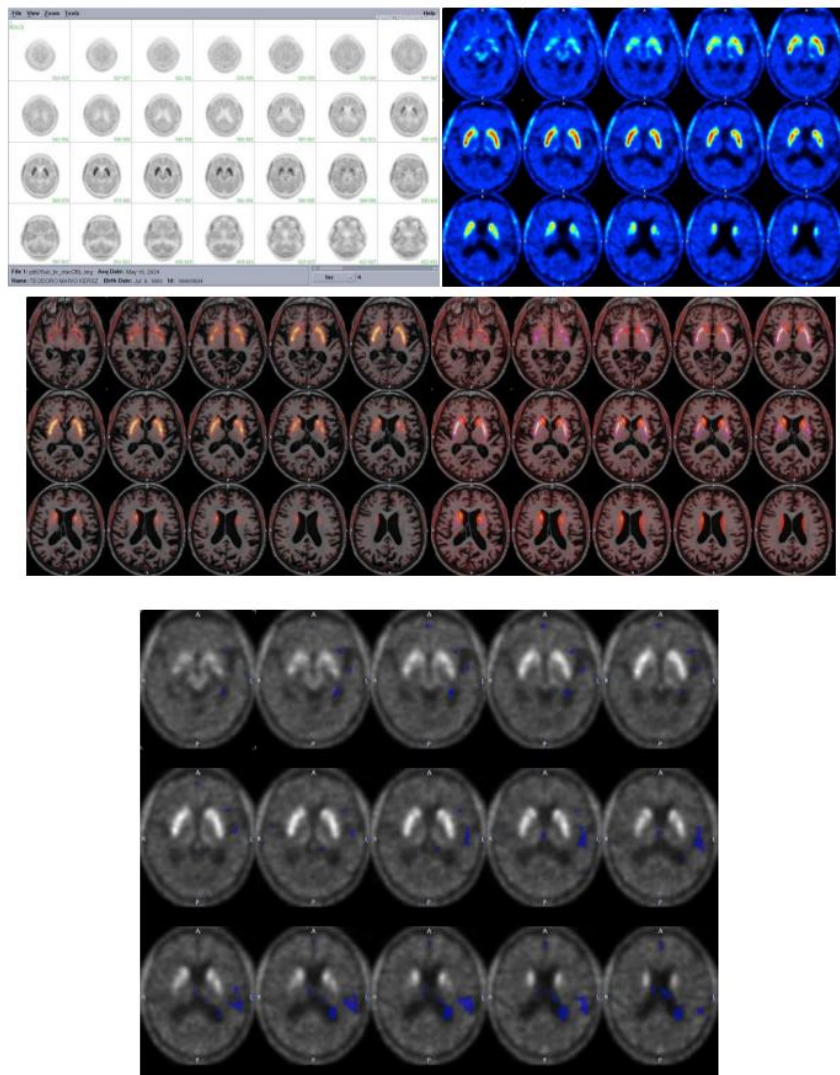
16.4 CASO 4

- Año de historia clínica: 2024
- Edad: 60
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Pte. Con enfermedad de Parkinson de aprox. 4 años de evolución, no presenta buena respuesta a LEVODOPA + SELEGILINA.
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: El examen realizado muestra disminución en la concentración del radiotrazador empleado sobre el dorso de ambos putámenes, a predominio derecho, donde se asocia a menor concentración sobre el núcleo caudado. Se adjunta una imagen axial de Zscore de comparación del paciente contra una base de controles. Se observan regiones de hipocaptación significativa (azul) en sectores posteriores y anteriores de ambos putámenes y en el caudado derecho.
- Diagnóstico: Parkinson.



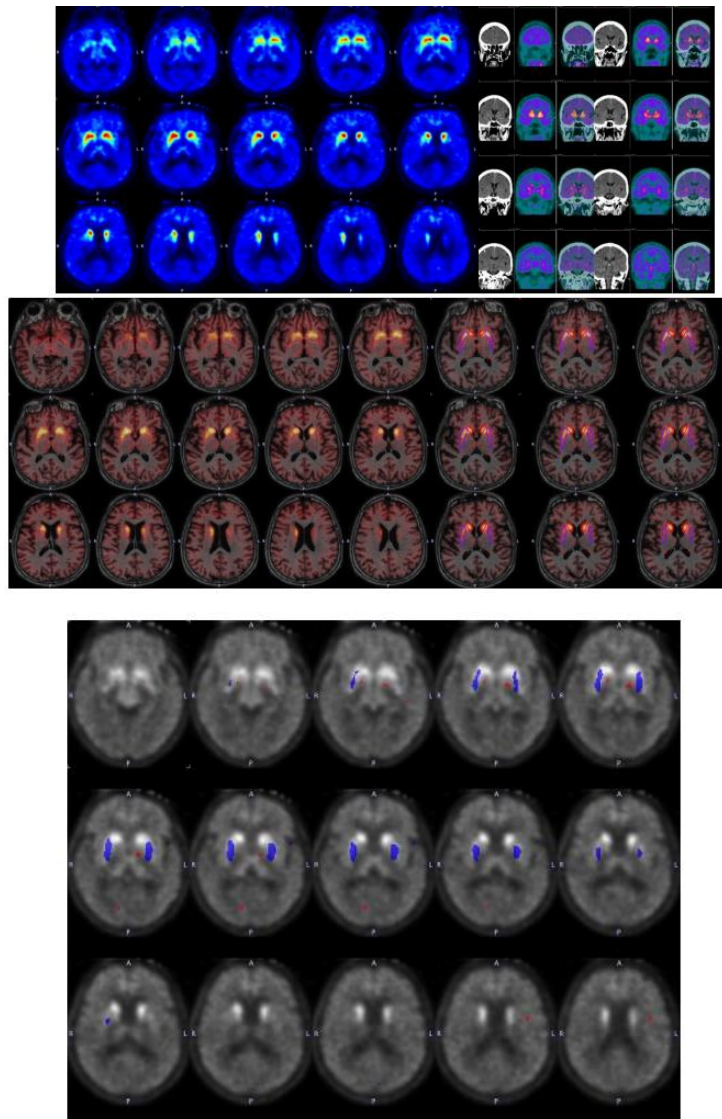
16.5 CASO 5

- Año de historia clínica: 2024
- Edad: 74
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Establecer diagnóstico entre SME Parkinsoniano Idiopático VS Fcológico.
- Síntomas: Lentitud generalizada sin lateralidad clara festinación en marcha y caídas. SME acitenorigido con leve predominio izquierdo. Hipomimia moderada.
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: No se observan alteraciones metabólicas ni asimetrías significativas en el examen PET-TC realizado, observándose normal distribución del radiotrazador en ambos cuerpos estriados. Se adjunta una imagen axial de Zscore de comparación del paciente contra una base de controles, sin observarse regiones de hipocaptación significativa (azul) en ambos putámenes y caudados.
- Diagnóstico: SME Parkinsoniano.



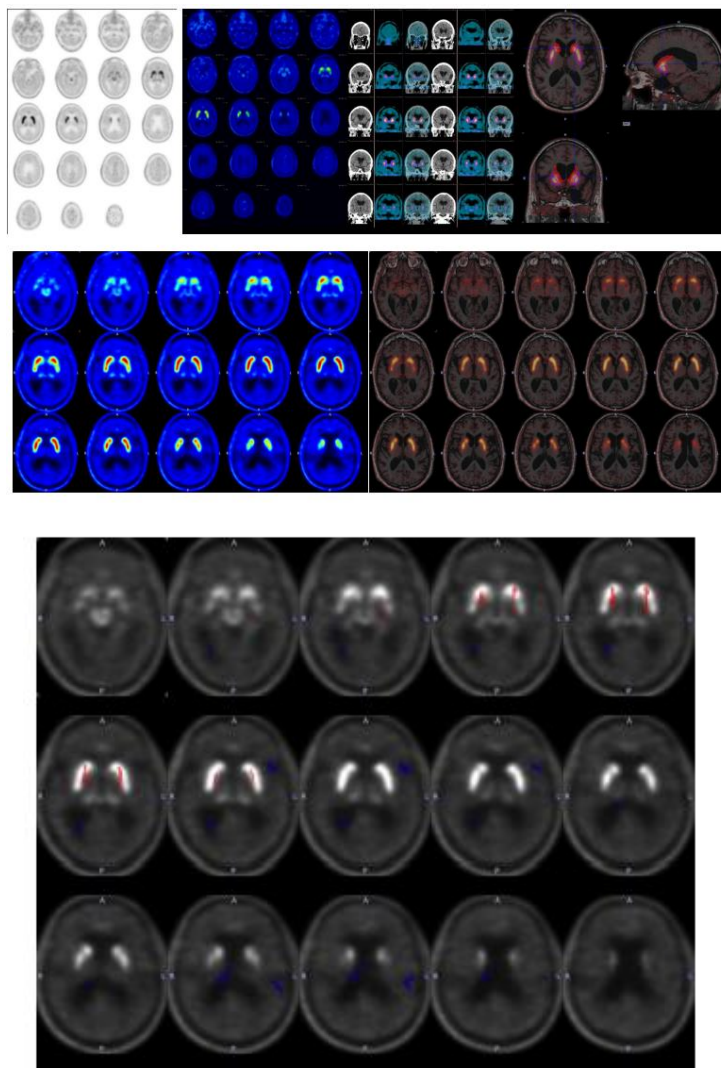
16.6 CASO 6

- Año de historia clínica: 2023
- Edad: 65
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Diagnóstico diferencial Parkinson atípico o atrofia muscular. Estadificación inicial
- Síntomas: Pte. En mal estado general, casi no habla, muy letárgica.
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: El examen PET-TC realizado muestra marcada disminución en la captación habitual del radiotrazador empleado sobre el sector posterior de ambos putámenes. Se adjunta una imagen de z-score de comparación del paciente contra una base de controles. En ella se observan regiones de hipocaptación significativas (azul) en sectores posteriores y anteriores de ambos putámenes.
- Diagnóstico: Parkinson.



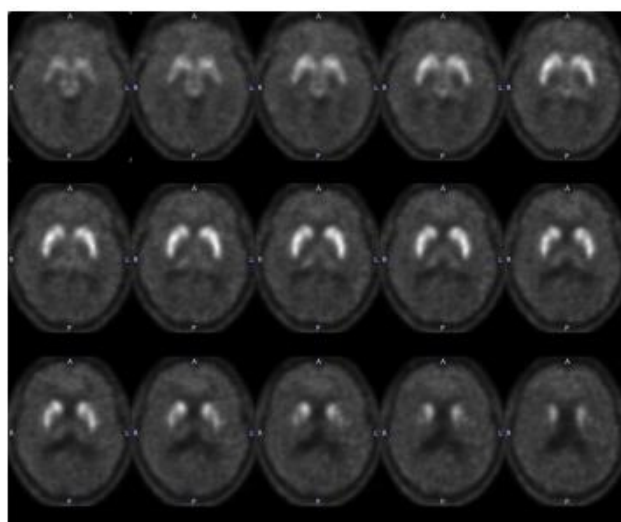
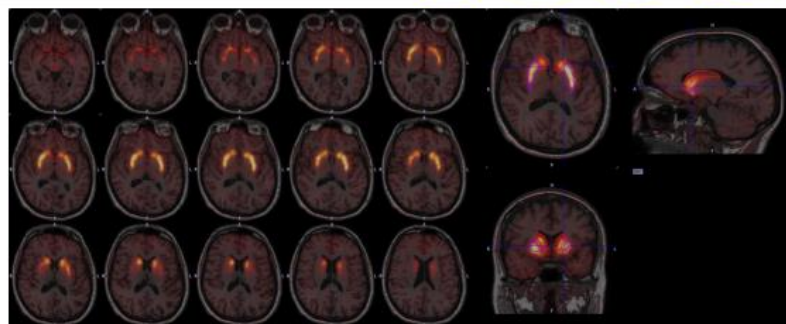
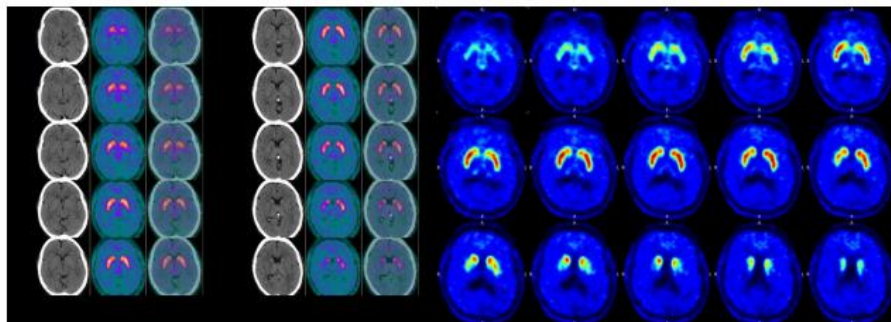
16.7 CASO 7

- Año de historia clínica: 2023
- Edad: 72
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Descartar diagnóstico de Parkinson.
- Síntomas: Temblores en manos hace 10 años, que empeoraron progresivamente, se extiende en ocasiones al resto del cuerpo. Se acompaña de pérdida de memoria y MMSS IZQ con parestesias y debilidad.
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: El examen PET-TC realizado muestra adecuada concentración del radiotrazador empleado sobre ambos cuerpos estriados. Se adjunta una imagen axial de Zscore de comparación del paciente contra una base de controles. No se observan regiones de hipocaptación significativa (azul) en ambos estriados.
- Diagnóstico: Temblor corporal.



16.8 CASO 8

- Año de historia clínica: 2023
- Edad: 44
- Motivo por el cual se solicita el estudio: Control previo a tto.
- Síntomas: ansiedad, alucinaciones, espasmos. Dolor en el pecho paraesternal DER y aumento de peso.
- Radiofármaco: F18 - DOPA
- Dosis: 10 mCi
- Hallazgos: No se observan alteraciones metabólicas ni asimetrías significativas en el examen PET-TC realizado, observándose normal distribución del radiotrazador. Se adjunta una imagen de zscore de comparación del paciente contra una base de controles. No se observan regiones de hipocaptación significativas (azul) en ambos putámenes y caudados.
- Diagnóstico: Parkinson previo. Control para tto.



Quiero destacar la contribución de Luciano Urso para la realización de mi trabajo, dando por finalizado el mismo.

Soledad Silvarredonda.