



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

Anexo a la Resolución de Directorio N° 226/11



mpuro

Plan de Estudios

Aprobado por el Ministerio de Educación de la Nación

Treinta y siete (37) materias TOTAL: Cuatro mil doscientos noventa (4.290) horas

Ciclo Básico

Año	Cuatrim.	Asignatura	Horas/semana			Correlativas
			Teor.	Prac.	Total	
1°	1° (30 h/s)	01 Física General I	4	3	7	
		02 Física Experimental I	3	4	7	
		03 Álgebra	4	4	8	
		04 Análisis Matemático I	4	4	8	
	2° (30 h/s)	05 Física General II	4	3	7	01,02,03,04
		06 Física Experimental II	3	4	7	01,02,03,04
		07 Análisis Matemático II	4	4	8	03,04
		08 Química I	4	4	8	03,04
2°	1° (30 h/s)	09 Física General III	3	4	7	05,06
		10 Física Experimental III	3	4	7	05,06
		11 Biología	4	4	8	08
		12 Química II	4	4	8	08
	2° (29 h/s)	13 Electromagnetismo	4	4	8	07,09,10
		14 Computación	3	4	7	07,09
		15 Matemáticas Especiales	4	3	7	07
		16 Química III	4	3	7	11,12
3°	1° (29 h/s)	17 Física Cuántica	4	4	8	13,15
		18 Probabilidades y Estadística	3	3	6	14
		19 Electrónica	3	4	7	09,15
		20 Anatomía e Histología	4	4	8	11
	2° (29 h/s)	21 Física Estadística	4	3	7	13,15,18
		22 Fisiología	4	4	8	20
		23 El núcleo y sus radiaciones	4	3	7	17
		24 Análisis de Señales	4	3	7	15,18

[Handwritten signature]
N. N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

Ciclo Superior

Año	Cuatrim.	Asignatura	Horas/semana			Correlativas
			Teo.	Pra.	Tot.	
4°	1° (29 h/s)	25 Biofísica (anual)	2	1	3	16,21,22
		26 Física de la Salud	4	3	7	23
		27 Radiobiología y Dosimetría	3	3	6	22,23
		28 Física de la Radioterapia	3	2	5	23
		29 Laborat. en Física de la Radiación	2	6	8	23
	2° (28 h/s)	25 Biofísica (anual)	2	1	3	16,21,22
		30 Técnicas en Radioanálisis	2	2	4	16,23
		31 Física de la Medicina Nuclear	3	2	5	26,27
		32 Fundamentos de Láser	2	1	3	17,21
		33 Física de las Imágenes Médicas	3	2	5	22, 24
	34 Laborat. en (a) Medicina Nuclear (b) Imágenes Médicas	2	6	8	26,27 22,24	
5°	(26 h/s)	35 Optativa 1	-	-	6	4° año completo
		36 Optativa 2	-	-	6	
		37 TRABAJO DE DIPLOMA (anual)	-	-	20	

mpuo
N.N
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo

CARGA HORARIA SEMANAL Y TOTAL DE LAS ASIGNATURAS

Año	Cuatrim.	Asignatura	Horas/semana			Horas totales	Horas anuales
			Teo.	Pra.	Tot.		
1°	1°	01 Física General I	4	3	7	105	900
		02 Física Experimental I	3	4	7	105	
		03 Álgebra	4	4	8	120	
		04 Análisis Matemático I	4	4	8	120	
	2°	05 Física General II	4	3	7	105	
		06 Física Experimental II	3	4	7	105	
		07 Análisis Matemático II	4	4	8	120	
		08 Química I	4	4	8	120	
2°	1°	09 Física General III	3	4	7	105	885
		10 Física Experimental III	3	4	7	105	
		11 Biología	4	4	8	120	
		12 Química II	4	4	8	120	
	2°	13 Electromagnetismo	4	4	8	120	
		14 Computación	3	4	7	105	
		15 Matemáticas Especiales	4	3	7	105	
		16 Química III	4	3	7	105	
3°	1°	17 Física Cuántica	4	4	8	120	870
		18 Probabilidades y Estadística	3	3	6	90	
		19 Electrónica	3	4	7	105	
		20 Anatomía e Histología	4	4	8	120	
	2°	21 Física Estadística	4	3	7	105	
		22 Fisiología	4	4	8	120	
		23 El núcleo y sus radiaciones	4	3	7	105	
		24 Análisis de Señales	4	3	7	105	
4°	1°	25 Biofísica (anual)	2	1	3	45	855
		26 Física de la Salud	4	3	7	105	
		27 Radiobiología y Dosimetría	3	3	6	90	
		28 Física de la Radioterapia	3	2	5	75	
		29 Lab. en Física de la Radiación	2	6	8	120	
	2°	25 Biofísica (anual)	2	1	3	45	
		30 Técnicas en Radioanálisis	2	2	4	60	
		31 Física de la Medicina Nuclear	3	2	5	75	
		32 Fundamentos de Láser	2	1	3	45	
		33 Física de las Imágenes Médicas	3	2	5	75	
34 Lab. en (a) Medicina Nuclear (b) Imágenes Médicas	2	6	8	120			
5°		35 Optativa 1	-	-	6	90	780
		36 Optativa 2	-	-	6	90	
		37 TRABAJO DE DIPLOMA (anual)	-	-	20	600	

mpuo
N.N
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

Contenido programático y detallado de las asignaturas de la carrera

A los fines de su mejor análisis, las asignaturas han sido agrupadas en cuatro (4) áreas, de acuerdo a la naturaleza de sus contenidos.

El Área A contiene los programas de materias básicas de la carrera imprescindibles para la comprensión de aquellas que figuran en las áreas siguientes (4 materias).

El área B contiene los programas de materias previas del Plan vinculadas en algún grado a la temática bajo evaluación (7 materias).

El área C contiene los programas de materias que versan específicamente sobre la Medicina Nuclear y las Imágenes Biomédicas (7 materias).

El área D contiene los programas de 2 asignaturas optativas que se consideran de interés para el buen desempeño del Físico Médico orientado hacia la Medicina Nuclear.

Área Básica: Matemáticas Especiales, Computación, Electrónica y Análisis de Señales.

Área Radiaciones Ionizantes: El núcleo y sus radiaciones, Física de la Radioterapia, Laboratorio en Física de la Radiación, Física de la Salud (Protección Radiológica y Radiofísica Sanitaria), Tópicos Avanzados en Física Médica (orientación Radioterapia), Radioterapia por Intensidad Modulada y Radiobiología y Dosimetría.

C. Área Imágenes Médicas y Medicina Nuclear: Procesamiento de Imágenes Biomédicas, Técnicas de Radioanálisis, Física de las Imágenes Médicas, Laboratorio en Imágenes Médicas, Física de la Medicina Nuclear, Laboratorio en Medicina Nuclear y Tópicos Avanzados en Física Médica (orientación Medicina Nuclear).

D. Área Materias optativas de interés: Electrónica Avanzada y Aplicación de Simulaciones Computacionales en Física Médica.

EA

R.N.

mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

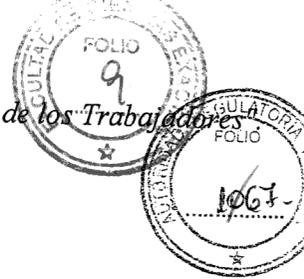
mpuo

Materias Optativas aprobadas por el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias Exactas

1. Aplicaciones Médicas del Laser.
2. Genética.
3. Introducción a la Electrofisiología Cardíaca.
4. Tópicos Avanzados en Física Médica - orientación Radioterapia.
5. Radioterapia por Intensidad Modulada.
6. Procesamiento de Imágenes Biomédicas.
7. Tópicos Avanzados en Física Médica - orientación Medicina Nuclear.
8. Electrónica Avanzada.
9. Aplicación de Simulaciones Computacionales en Física Médica.

[Handwritten signature]

*D.N.
mpuo*





Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

A. ÁREA BÁSICA

1. MATEMÁTICAS ESPECIALES

7 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

1. Sucesiones y series de números reales. Series de Potencias. Desarrollo de Taylor.
2. Números complejos. Algebra y aritmética de números complejos. Conjuntos en el plano complejo. Curvas en el plano complejo. Funciones complejas. Derivabilidad, condiciones de Cauchy-Riemann. Analiticidad. Funciones trascendentes elementales. Integración en el plano complejo. Fórmula de Cauchy. Desarrollo de Taylor de funciones complejas. Serie de Laurent. Singularidades. Polos. Teorema de los residuos y aplicaciones. Mapeo conforme.
3. Ecuaciones diferenciales. Conceptos básicos. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Solución general y particular. Métodos de resolución de ecuaciones de primer orden. Métodos de resolución de ecuaciones lineales de segundo orden. Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Propiedades básicas. Resolución de problemas con condiciones de contorno por mapeo conforme y separación de variables. Aplicaciones.
4. Series de Fourier. Forma real y compleja del desarrollo. Condiciones de convergencia. Desarrollos de medio rango. Transformada de Fourier. Propiedades básicas. Ejemplos. Delta de Dirac. Aplicación a la resolución de ecuaciones diferenciales.

2. COMPUTACIÓN

7 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

1. Introducción a los sistemas de computadoras. Primeras definiciones. Historia de las computadoras. Organización y arquitectura de las computadoras modernas. Principales componentes. El rol de los sistemas operativos y los programas de aplicación. La PC y los sistemas de cómputo. Componentes de la computadora, funciones, estructura e interconexión. El sistema de entrada/salida. Almacenamiento de la información. Periféricos. Organización de la memoria. Interrupciones. Procesamiento de instrucciones. Clasificación de las computadoras. La PC y los grandes sistemas de cómputo. Redes de computadoras e Internet. Conceptos generales.

mpuo
N. N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

2. Representación de la información en sistemas digitales. Sistemas de numeración binaria, octal y hexadecimal. Representación de números enteros. Magnitud y signo, complemento a 1, complemento a 2 y representación en punto fijo. Aritmética con enteros. Representación en punto flotante. El standard IEEE 754. Aritmética en punto flotante. Representación binaria de información no numérica. Códigos de caracteres: BCD y ASCII. Gráficos.
3. El sistema operativo. Objetivos y funciones. Tipos de sistemas operativos. Herramientas de programación de alto nivel: Editor, compilador, librerías, linker, make y debugger. IDE (entornos integrados de desarrollo). Prácticas comunes en la escritura de código: estilo, formato, claridad, simplicidad.
4. Programación de alto nivel. Conceptos generales. Modelización de problemas. Tipos de datos, arreglos y estructuras de datos. Operadores y expresiones. Estructuras de control y algoritmos. Procedimientos, funciones y estructura de un programa. Punteros, arreglos y estructuras. Entrada/salida. Los diferentes lenguajes de programación. Lenguajes compilados versus interpretados. La programación en lenguaje C.
5. Entornos avanzados de programación científica. Introducción al uso de entornos inteligentes y amigables para la ejecución de aplicaciones matemáticas y/o científicas. Cálculo simbólico, cálculo numérico, aplicaciones estadísticas, simulaciones Monte Carlo, aplicaciones orientadas a la Física Médica. Generación de gráficos. Generación de imágenes sintéticas. Amplia ejercitación utilizando entornos de uso difundido en la comunidad científica, como (lista sólo ejemplificativa) Mathematica, Matlab, MuPad, Opera, SciLab y/o programas similares.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo

3. ELECTRÓNICA

8 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

1. Circuitos. Resolución de circuitos lineales: Teoremas de Thevenin, Norton y Superposición. Respuesta temporal y frecuencial. Diagramas de Bode. Resolución de circuitos alineales.
2. Diodos. Características. Modelo aproximado lineal. Rectificación, filtros a capacitor. Recortadores y limitadores. Diodos Zener: características. Regulador de tensión.
3. Tiristores y Triacs. Control de potencia.
4. Transistores. Transistores bipolares: Características. Modelos equivalentes lineales. Polarización. Transistores por efecto de campo. Características, Modelo equivalente, polarización.



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

5. Amplificación. Parámetros característicos de un amplificador: ganancias de tensión y corriente, impedancias de entrada y salida, respuesta en frecuencia, distorsión. Etapas acopladas a R y C. Amplificador diferencial. Amplificadores de potencia.
6. Amplificadores operacionales. Amplificador operacional ideal. Configuraciones inversora y no inversora. Aplicaciones: suma, integración y diferenciación analógicas. Filtros. Simulación analógica de ecuaciones diferenciales. Comparadores. Generador de funciones.
7. Realimentación. Concepto de realimentación. Realimentación negativa, su influencia sobre los parámetros de un sistema. Estabilidad de sistemas realimentados. Reguladores y controladores. Realimentación positiva. Osciladores sinusoidales. Condiciones de oscilación. Estabilidad de frecuencia. Osciladores a cristal. Osciladores de relajación.
8. Circuitos especiales. Convertidores A/D y D/A.
9. Aplicaciones de Física Médica. Transductores para la detección y registro de parámetros de interés en diagnóstico médico. Detección y registro de señales eléctricas de origen biológico.

4. ANÁLISIS DE SEÑALES

7 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

EA
N. N.
mpuo

1. Señales. Distintos tipos de señales: analógicas, muestreadas, cuantizadas, digitales. Señales periódicas y no periódicas. Señales de ca y redes. Ejemplos. Dualidad tiempo-frecuencia. Estado transitorio y permanente.
2. Sistemas: clasificación. Sistemas LIT. Sistemas de tiempo continuo: la integral de convolución. Sistemas LIT de tiempo discreto: la sumatoria de convolución. Propiedades de LIT. Representación en diagramas en bloques. Representación de señales por impulsos.
3. Análisis de Fourier para señales y sistemas de tiempo continuo. Representación de señales periódicas: Series de Fourier. Propiedades. Respuesta en frecuencia. Representación de señales no periódicas: Transformada de Fourier. Propiedades. Respuesta en frecuencia.
4. Series de Fourier de tiempo discreto. Transformadas de Fourier de tiempo discreto. Propiedades. Convolución. Modulación. Respuesta en frecuencia.



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

M. P. M.

5. Filtros, modulación y muestreo. Filtros selectivos en frecuencia ideales y no ideales. Modulación: amplitud, frecuencia y fase. Muestreo: representación de una señal de tiempo continuo mediante sus muestras. Reconstrucción de una señal a partir de sus muestras.
6. Transformada Z. Región de convergencia. Transformada inversa. Pares transformados. Transformada Z unilateral. Propiedades. Análisis de sistemas LIT usando transformada Z.
7. Procesos aleatorios. Correlación y densidad espectral. Identificación de señales mediante correlación.

B. ÁREA RADIACIONES IONIZANTES

5. EL NÚCLEO Y SUS RADIACIONES

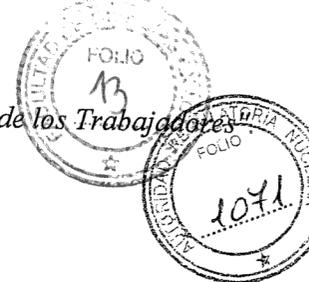
7 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

Repaso

Relatividad, Rayos X, Dispersión de partículas

1. Radiaciones nucleares y propiedades nucleares
Modelos atómicos. Isótopos, isótonos, isóbaros, isómeros. Tabla de isótopos. Partículas de la Física Nuclear y de la Física de Altas energías. Estabilidad nuclear. Fuerzas y modelos nucleares. Fusión y fisión. Núcleos inestables: ley de desintegración radiactiva. Unidades de actividad. Actividad específica. Factor de decaimiento efectivo y factor de corrección. Curva universal. Fluctuaciones en el decaimiento radioactivo. Emisiones nucleares: emisión α , β^+ , β^- , captura electrónica, radiación de aniquilación, radiación gamma y conversión interna, radiación X y electrones Auger, neutrones y fragmentos de fisión. Esquemas de desintegración. Datación con ^{14}C . Radioactividad natural: series e isótopos. Filiación. Equilibrios ideal, transiente y secular. Reacciones nucleares: ejemplos. Radioactividad artificial. Producción de los radionucleídos de la Medicina Nuclear. Energética de las desintegraciones radiactivas. Radio nuclear. Energía de ligadura. Impulso angular y momento dipolar magnético. Momento cuadrupolar eléctrico. Paridad. Estadística.
2. Interacción de las radiaciones nucleares con la materia.
Sección eficaz. Camino medio libre. Pérdida de energía de partículas cargadas pesadas por colisiones atómicas: teorías de Bohr y de Bethe-Bloch. Poder frenador y poder frenador másico. Rango. Straggling de energía. Pérdida de energía de electrones y positrones. Pérdida por colisión y por radiación. Energía crítica. Longitud de radiación. Rango. Absorción de electrones β . Dispersión

M. P. M.





Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

mpuo

elástica con los núcleos. La interacción de fotones. Efecto fotoeléctrico. Dispersión Compton. Producción de pares. Producción triple. Dispersión de Rayleigh y de Thomson. Reacciones fotonucleares. Camino medio libre. Coeficientes de atenuación lineal, másico, atómico y electrónico. Coeficientes de atenuación, de absorción y de transferencia de energía. Rendimiento de bremsstrahlung. Energías medias transferidas por efecto fotoeléctrico y Compton. Efectos que siguen a las interacciones de fotones. La interacción de neutrones. Moderación de los neutrones.

3. La detección de la radiación

Características generales de los detectores: sensibilidad, resolución en energía, factor de Fano, eficiencia, función respuesta, tiempo de respuesta y tiempo muerto. Medida del tiempo muerto por el método de las dos fuentes. Detectores de ionización gaseosos. Fenómenos de ionización, recombinación y transporte. Detectores de centelleo: características. Luminiscencia. Respuesta rápida y lenta. Centelladores orgánicos, base de funcionamiento, fluorescencia y fosforescencia. Cristales inorgánicos: mecanismos de fluorescencia y fosforescencia. Altura de pulso a la salida del fotomultiplicador: absorción de la energía incidente, conversión luminiscente, transmisión luminosa y emisión fotoelectrónica y secundaria. Luminiscencia: linealidad, dependencia con la temperatura. Discriminación de la forma del pulso. Eficiencia de detección intrínseca para las distintas radiaciones. Detectores semiconductores: propiedades básicas. Semiconductores intrínsecos. Concentración de portadores, movilidad, recombinación y atrapamiento. Semiconductores dopados. Características de detección de los semiconductores tipo "p" y "n". Detectores de germanio intrínseco: espectroscopía gamma. Condiciones de operación.

4. Dosimetría y protección radiológica. Efectos de la radiación

Terminología de la dosimetría. Unidades. Exposición y tasa de exposición. Dosis absorbida. Relación entre exposición, dosis absorbida y actividad de la muestra. Transferencia de energía lineal (LET). Factor de peso de la radiación. Efectividad biológica relativa (RBE). Factor de calidad de la radiación. Dosis equivalente y dosis equivalente efectiva, colectiva y comprometida. Fuentes de radiación, naturales y artificiales. Las problemáticas del radón y de la energía nucleoelectrónica. Dosis típicas de fuentes comunes en el medio ambiente. Dosis altas y de bajo nivel. Efectos tardíos. Límite de dosis. Dosis aceptables en Radioterapia. Blindajes. Seguridad para la radiación en el Laboratorio. Elementos de Radiobiología. Teoría del Target. Respuesta y cura en tejidos.

5. Una revisita desde la óptica del uso médico de las radiaciones

Clasificación de las radiaciones. Radiaciones ionizantes en Medicina. Producción de vacancias. Interacción de electrones: relación entre poder frenador y dosis, eficiencia de bremsstrahlung, poder frenador y LET, poder frenador másico restringido, poder dispersor másico. Interacción de fotones: hemiespesores y dieciespesores. Efectos fotoeléctricos, Compton, producción

mpuo
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

mpuro

de pares, dispersión de Rayleigh y reacciones fotonucleares. Energía transferida y energía absorbida. Contribuciones al coeficiente de atenuación.



6. Principios dosimétricos, cantidades y unidades

Poder frenador restringido. Rendimiento de bremsstrahlung. Efectos que siguen a la interacción de fotones. Fluencia de fotones y de energía. Kerma, cema y dosis absorbida. Dosis acumulada. Caso de radionucleídos de vida media corta. Constante específica de radiación gamma. Poder frenador. Relaciones entre las cantidades dosimétricas. Equilibrio electrónico. Teoría de la cavidad de Gragg-Gray y de Spencer-Attix.

Trabajos prácticos

El curso de trabajos prácticos (3 horas semanales) consiste de 6 prácticas de resolución de problemas y la realización de 6 trabajos experimentales, a saber:

A - Detector de centelleo

Laboratorio N° 1

Uso del osciloscopio. Efecto de la alta tensión de fototubo y de la ganancia del amplificador.

Laboratorio N° 2

Análisis de espectros de muestras patrones (^{137}Cs , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{133}Ba y ^{152}Eu). Recta de calibración. Identificación de las señales. Cálculo de las energías del borde Compton, de los picos de retrodispersión, de los de escape y búsqueda de las energías de las radiaciones X. Comparación con las energías determinadas experimentalmente y discusión de las diferencias.

Determinación de las energías de un nucleido incógnita.

Laboratorio N° 3

Resolución en energía del espectrómetro.

Laboratorio N° 4

Eficiencia de fotópico en ^{137}Cs . Determinación de la actividad de una muestra de ^{137}Cs no calibrada.

Laboratorio N° 5

Coefficiente de atenuación y másico en Pb y Al.

B - Detector de GeHP

[Handwritten signatures and initials]



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

Laboratorio N° 6

mpuo

- a) Recta de calibración del equipo a partir de espectros de nucleídos patrones. Resolución en función de la energía. Identificación de un nucleído incógnita.
- b) Espectro del medioambiente: identificación de las energías de las radiaciones naturales.

6. FÍSICA DE LA RADIOTERAPIA

5 horas semanales, 15 semanas, 75 horas

1. Repaso de conceptos básicos: estructura atómica, interacción de la radiación con la materia. Efectos biológicos.
2. Dosimetría, magnitudes y unidades: Kerma, dosis absorbida, Stopping power, relaciones entre cantidades dosimétricas. Teoría de la cavidad. Bragg Gray y Spencer Attix. Sopping power ratios.
3. Dosímetros para radioterapia: Características, propiedades. Dosímetros en base a cámara de ionización: cámaras cilíndricas, cámaras plano paralelas, cámaras para Braquiterapia. Film dosímetros, dosímetros termoluminiscentes, películas radiocrómicas, dosímetros semiconductores, nuevos tipos de detectores. Patrones primarios. Trazabilidad.
4. Equipos para radioterapia externa: Equipos y unidades de rayos X. Equipos y unidades de rayos gamma. Aceleradores de partículas, aceleradores lineales, generadores de protones e iones pesados. Simuladores. Normativa internacional relevante para el diseño (Normas ISO e IEC).
5. Dosimetría básica en radioterapia externa con fotones: aspectos físicos y dosimétricos. Rendimiento. Parámetros energéticos. Dosis de entrada, región de build-up, profundidad de máxima dosis, dosis de salida, equilibrio electrónico, influencia del tamaño de campo, Sc y Sp. Dosis en profanidad. PDD. TAR. SAR. TMR. SMR. Off axis factor. Planicidad y simetría. Curvas de isodosis. Compensación por inhomogeneidad, incidencia oblicua y missing tissue. Método de Clarckson. Mediciones relativas. Equipos y métodos. Corrección por apertura y cierre en máquinas de telecobaltoterapia.
6. Dosimetría clínica en radioterapia externa con fotones: definición de volúmenes. ICRU 50. Especificación y normalización de dosis. Adquisición de datos de paciente. Simulación real y virtual. Curvas de isodosis. Cuñas, bolus y compensadores. Corrección por inhomogeneidades. Combinaciones de haces. Evaluación del plan de tratamiento: histogramas dosis volumen, estadísticas. Reconstrucciones multiplanares, BEV, criterios de evaluación. Comparación de protocolos.

mpuo
N. N. C.



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

7. Aspectos físicos y clínicos en la radioterapia con electrones: Curvas de rendimiento, interacción de los electrones con el medio, ley de inversa de cuadrado, build-up. PDD. Incidencia oblicua. Rango terapéutico. Especificación de la energía en haces de electrones. Consideraciones clínicas. Campos irregulares y corrección por inhomogeneidades. Planificación de tratamientos con electrones.
8. Calibración de haces de fotones y electrones: Tipos de dosímetros, electrómetros, cámaras de ionización, maniqués, calibración de dosímetros y evaluación de factores de influencia. Especificación de la calidad del haz. Protocolos de calibración (IAEA 398, etc.). Errores e incertidumbres, clasificación de incertidumbres, incertidumbres en la cadena de calibración.
9. Aceptación y puesta en servicio: equipamiento necesario. Especificaciones técnicas para la adquisición de equipos. Pruebas de aceptación: concepto, ensayos mecánicos, de seguridad y dosimétricos. Pruebas de puesta en servicio en generadores fotones y electrones.
10. Sistemas computarizados de planificación de tratamientos en radioterapia externa: Algoritmos de cálculo, procesos involucrados, hardware. Métodos de adquisición de datos de máquina y modelado del haz. Adquisición de datos de paciente. Puesta en servicio y aseguramiento de la calidad.
11. Aseguramiento de la calidad en radioterapia de haces externos: Terminología. Accidentes en radioterapia. Requerimientos de exactitud en radioterapia. Sistemas de QA. Programas de calidad aplicables a los equipos. Publicación IAEA TRS 1151: Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia. Programa de QA en la administración del tratamiento. Controles periódicos, planillas de pacientes, imágenes portales, dosimetría in vivo. Registro y verificación. Auditorías de Calidad. Mantenimiento preventivo y correctivo
12. Aspectos físicos y clínicos de la Braquiterapia: Características y especificaciones de las fuentes. Modalidades: Braquiterapia ginecológica, intersticial, sistemas de carga diferida remota, implantes permanentes, aplicadores oculares, Braquiterapia endovascular. Especificación de dosis: ICRU 38; ICRU 58. AAPM-TG 43. Métodos de cálculo. Puesta en servicio de sistemas computados de planificación para Braquiterapia. Aceptación y puesta en servicio de fuentes: ensayos y calibración. Programa de calidad.
13. Procedimientos y técnicas especiales: Irradiación estereotáctica, Irradiación corporal total (TBI), irradiación total de piel con electrones (Total Skin Electron Irradiation – TSEI), radioterapia intra operatoria (IORT), radioterapia conformada, intensidad modulada (IMRT), radioterapia guiada por imágenes (IGRT), técnicas experimentales.

[Handwritten signature]
N.N.
[Handwritten signature]



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuro

La asignatura se dicta en modalidad teórico-práctica, según el cronograma siguiente:

	semanas
Repaso. Dosimetría, magnitudes y unidades.	
Equipos y dosímetros	1
Dosimetría clínica.	2
Radioterapia externa fotones	2
Haces de electrones.	1
Calibración haces de fotones y electrones.	2
Aceptación y puesta en servicio	1
Sistemas computarizados de planificación	1
Programa Aseguramiento de la calidad	2
Braquiterapia	2
Técnicas de tratamiento Especiales.	1

7. LABORATORIO EN FÍSICA DE LA RADIACIÓN

8 horas semanales, 15 semanas, 120 horas

Referencias:

CIO: Centro de Investigaciones Oncológicas de la ciudad de La Plata, HG: Hospital Garrahan, DF: Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. Para la realización de los Laboratorios en CIO y HG, la Universidad Nacional de La Plata ha celebrado Convenios con ambos Centros de Salud.

TRABAJO PRÁCTICO N° 1 (HG/CIO)

DETERMINACIÓN DE DOSIS DE RAYOS X DE ALTA ENERGÍA EN CONDICIONES DE REFERENCIA DE ACUERDO A PROTOCOLO TRS 398.

DETALLE

1. Evaluación del equipamiento e instrumental.
2. Pruebas mecánicas y geométricas preliminares.
3. Montaje del conjunto de medición, estabilización y control de fugas.
4. Medición de la razón D20/D10.
5. Medición de magnitudes de influencia.
6. Medición de carga en condiciones de referencia.

N.N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

7. Determinación de la dosis en condiciones de referencia a partir de las medidas efectuadas.
8. Elaboración del informe de calibración.

RECURSOS NECESARIOS:

Acelerador Lineal de electrones (modo fotones) Pasos 2 a 6
Sistema de dosimetría completa: electrómetro, cable y cámara calibrados.
Maniquí de agua.
Barómetro y termómetro.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 5 (cinco) horas
PROCESAMIENTO DE DATOS: 3 (tres) horas

POSIBLES ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS (algunas de ellas sujetas a disponibilidad de equipamiento)

- Medición D20/D10 a partir de curvas obtenidas con sistema de relevamiento automático. Variación con el tamaño de campo (apartamiento de condiciones de referencia).
- Determinación del Nk a partir del NDw. Comparación protocolos TRS 277 – TRS 398.
- Determinación NDw de una segunda cámara a partir del NDw de la cámara calibrada (contrastación de campo).
- Mediciones de correlación para control periódico (Tracker o sistema similar)

TRABAJO PRÁCTICO N° 2 (HG/CIO)

DETERMINACIÓN DE DOSIS DE ELECTRONES EN CONDICIONES DE REFERENCIA DE ACUERDO A PROTOCOLO TRS 277.

DETALLE

1. Evaluación del equipamiento e instrumental.
2. Pruebas mecánicas y geométricas preliminares.
3. Montaje del conjunto de medición, estabilización y control de fugas.
4. Medición de magnitudes de influencia.
5. Obtención de curva PDD en condiciones de referencia. (al menos dos energías)
6. Determinación de punto de medición para cada energía.
7. Medición de carga en condiciones de referencia (al menos dos energías).
8. Determinación de la dosis en condiciones de referencia a partir de las medidas efectuadas.
9. Elaboración del informe de calibración.

mpuo
N.N.

RECURSOS NECESARIOS:



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo

Acelerador Lineal de electrones (modo electrones) PASOS 2 a 6
Sistema de dosimetría completa: electrómetro, cable y cámara calibrados.
Sistema de barrido 3D (fantoma motorizado, hardware y software asociado)
Maniquí de agua.
Barómetro y termómetro.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 6 (seis) hs
PROCESAMIENTO DE DATOS: 4 (cuatro) hs

POSIBLES ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS (algunas de ellas sujetas a disponibilidad del equipamiento)

- Calibración en maniquí de acrílico/sólido equivalente agua.
- Monografía: comparación de protocolos de medición con cámara tipo Farmer y cámaras planas para electrones (Roos, Markus)
- Determinación del foco virtual para tratamiento a distancias distintas a las de calibración.
- Dosimetría por film con electrones.

TRABAJO PRÁCTICO N° 3 (HG/Hospital Interzonal General San Martín)

Existe un Convenio entre la Universidad Nacional de La Plata y el Hospital Interzonal General San Martín

CALIBRACIÓN DE UNIDAD DE COBALTOTERAPIA

DETALLE

1. Evaluación del equipamiento e instrumental.
2. Pruebas mecánicas y geométricas preliminares.
3. Coincidencia campo radiante – luminoso.
4. Montaje del conjunto de medición, estabilización y control de fugas.
5. Medición de magnitudes de influencia.
6. Medición de carga en condiciones de referencia.
7. Medición de factores de campo, linealidad, apertura y cierre, factores de cuña y factores de bandeja.
8. Determinación de la dosis en condiciones de referencia a partir de las medidas efectuadas.
9. Cálculo de factores de campo y factores de cuña.
10. Elaboración del informe de calibración.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo RECURSOS NECESARIOS:

Equipo de telecobaltoterapia (Pasos 2 a 7)
Sistema de dosimetría completa: electrómetro, cable y cámara calibrados.
Maniquí de agua.
Barómetro y termómetro.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 8 (ocho) hs.
PROCESAMIENTO DE DATOS: 4 (cuatro) hs.

POSIBLES ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Prueba de sistemas de seguridad.

TRABAJO PRÁCTICO N° 4 (HG/CIO)

MEDICIONES PARA CONTROL ANUAL DE UN ACELERADOR LINEAL, MODO FOTONES.

DETALLE

1. Evaluación del equipamiento e instrumental.
2. Pruebas mecánicas y geométricas preliminares.
3. Montaje del conjunto de medición, estabilización y control de fugas.
4. Medición de la razón D20/D10.
5. Medición de magnitudes de influencia.
6. Medición de factores de campo, factores de cuña y otros modificadores de haz, control de linealidad. Medición de dosis en condiciones de referencia.
7. Obtención de perfiles y curvas de PDD para diferentes tamaños de campo. Determinación de simetría y planicidad.
8. Determinación de la dosis en condiciones de referencia a partir de las medidas efectuadas.
9. Elaboración de tablas de factores de campo y TPR.
10. Elaboración del informe según pautas IAEA TRS 1151.

RECURSOS NECESARIOS:

Acceptorador Lineal de electrones (modo fotones) PASOS 2 a 8
Sistema de dosimetría completa: electrómetro, cable y cámara calibrados.
Sistema de barrido 3D (fantoma motorizado, hardware y software asociado)
Maniquí de agua.
Barómetro y termómetro.

DURACIÓN EN LABORATORIO: Total 15 (quince) hs.
PROCESAMIENTO DE DATOS: 15 (quince) hs.

N.N.
mpuo



mpuro

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Medición de perfiles y curvas pdd con dosimetría por film.
- Control de isocentro por placas (star shot de gantry, colimador y camilla). Determinación de simetría y planicidad en diferentes ángulos de gantry.
- Evaluación del efecto de endurecimiento del haz por la presencia de cuñas.

Nota: la realización de este Trabajo Práctico queda sujeta a la disponibilidad de los aceleradores lineales de los servicios mencionados. Aún cuando no sea posible su presencia durante las mediciones en campo, los alumnos deberán analizar todos los resultados correspondientes al control anual del acelerador provistos por los profesores y elaborar un informe conforme a los requerimientos del programa de aseguramiento de la calidad del mismo.

TRABAJO PRÁCTICO N° 5 (CIO)

BRAQUITERAPIA DE ALTA TASA DE DOSIS.

DETALLE:

1. Pruebas de seguridad (sala, equipo, fuentes y aplicadores). Reporte de fallas.
2. Medición de tasa de kerma en aire siguiendo el procedimiento establecido en IAEA TRS 1151.
3. Planificación de un tratamiento ginecológico completo.
4. Planificación de un tratamiento con agujas.
5. Validación de transferencia de datos del planificador a la unidad de tratamiento.

RECURSOS NECESARIOS:

Unidad de Braquiterapia de Alta Tasa de Dosis.

Sistema de planificación para braquiterapia de alta tasa de dosis.

Sistema de dosimetría completa: electrómetro, cable y cámara calibrados en términos de Nk.

Barómetro y termómetro.

DURACIÓN EN LABORATORIO: Puntos 1 y 2: cinco horas; Puntos 3 y 4: cinco hs (este tp se desarrolla en dos jornadas diferentes). Total 10 hs

PROCESAMIENTO DE DATOS: 5 (cinco) hs

POSIBLES ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS (sujetas a disponibilidad de equipamiento)

- Calibración con cámara de pozo.
- Planificación de tratamientos con moldes.
- Planificación de tratamientos de BQT mama per operatoria.

[Handwritten signature]

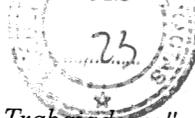
N.N.

[Handwritten signature]



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



- Armar una planilla de cálculo para validación rápida de resultados (cross check)

mpuo

TRABAJO PRÁCTICO N° 6 (DF/CIO)

PLANIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS

Nota: *el objetivo de este práctico es poner en conocimiento a los alumnos del manejo del planificador de tratamientos a fin de realizar los trabajos prácticos siguientes.*

1. Manejo del TPS. Algoritmos de cálculo y su influencia en el resultado;
2. Normalización, Curvas y superficies de isodosis en fantoma.
3. Carga de información anatómica; marcación de volúmenes (CTV, PTV, OAR, etc.).
4. Normalización, Curvas y superficies de isodosis, evaluación de resultados, histogramas dosis volumen integral y diferencial.
5. Evaluación de la curva de calibración UH vs densidad electrónica relativa.
6. Corrección por inhomogeneidades, evaluación de resultados.
7. Secuencia operativa: de la prescripción al tratamiento; controles y validación entre las interfases.

RECURSOS NECESARIOS:

Sistema computarizado de tratamiento y hardware asociado.
Datos de pacientes (formato DICOM).
Otros recursos informáticos.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 3 hs. Cada alumno deberá afianzar en forma individual el manejo del planificador a su disposición en el Departamento de Física a fin de poder resolver los trabajos prácticos N° 7, 8 y 9.

TRABAJO PRÁCTICO N° 7 (DF/CIO)

PLANIFICACIÓN TRATAMIENTO CABEZA Y CUELLO

1. Planificar el tratamiento con 2 campos opuestos y paralelos, de igual peso sin cuña. Evaluar resultados analizando $D_{m\acute{a}x}/D_{m\acute{i}n}$, D_{prom} en el target y volumen global, DVH del target y órganos de riesgo (ojos/retinos, cócleas, hipófisis).
2. agregar a la planificación anterior las cuñas. Analizar los resultados en función de la posición de las cuñas. Comparar los resultados con las cuñas ubicadas en la posición correcta con la planificación según el punto 1.
3. Evaluar la necesidad de incorporar campos con cuñas en el sentido cefalocaudal.

N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

4. Agregar a la planificación resultante del punto 3 un campo coronal (no-coplanar). Evaluar los resultados y analizar la conveniencia de incorporar este campo a la planificación final.
5. Realizar un informe final con la inclusión de los resultados de todos los pasos anteriores y con la elección justificada del tratamiento/s a presentar al médico para su evaluación.

RECURSOS NECESARIOS:

Sistema computarizado de tratamiento y hardware asociado.
Datos de pacientes (formato DICOM). Imágenes correspondientes a un tumor de fosa posterior con GTV, CTV y PTV.
Protocolo de tratamiento: calidad del haz, prescripción de dosis en target y límites de dosis en órganos de riesgo (ojos/retinos, cócleas, hipófisis).

DURACIÓN EN LABORATORIO: 3 hs (sujeto a la habilidad del alumno en el manejo del planificador que tendrá a su disposición y a demanda programada).

TRABAJO PRÁCTICO N° 8 (DF/CIO)

PLANIFICACIÓN TRATAMIENTO DE MAMA IZQ

1. Planificar el tratamiento con 2 campos tangenciales conformados opuestos y paralelos, de igual peso sin cuña. Evaluar resultados analizando $D_{máx}/D_{mín}$, D_{prom} en el target y volumen global, DVH del target y órganos de riesgo (pulmón y ventrículo).
2. Agregar a la planificación anterior las cuñas y evaluar la necesidad de quebrar las entradas de los campos y sus pesos y variar la posición del isocentro. Analizar los resultados. Comparar los resultados con la planificación según el punto 1. Evaluar la necesidad de utilizar las cuñas.
3. Agregar a la planificación resultante del punto 3 un campo coronal (no-coplanar). Evaluar los resultados y analizar la conveniencia de incorporar este campo a la planificación final.
4. Realizar el cálculo nuevamente incorporando la corrección por inhomogeneidad. Analizar los resultados.
5. Realizar un informe final con la inclusión de los resultados de todos los pasos anteriores y con la elección justificada del tratamiento/s a presentar al médico para su evaluación.

[Handwritten signature]

N.N.

mpuo

RECURSOS NECESARIOS:

Sistema computarizado de tratamiento y hardware asociado.
Datos de pacientes (formato DICOM). Imágenes correspondientes a un tumor de mama izquierda con GTV, CTV y PTV.



mpuo

Protocolo de tratamiento: calidad del haz, prescripción de dosis en target y límites de dosis en órganos de riesgo.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 3 hs (sujeto a la habilidad del alumno en el manejo del planificador que tendrá a su disposición y a demanda programada)

TRABAJO PRÁCTICO N° 9 (DF/CIO)

PLANIFICACIÓN TRATAMIENTO DE PRÓSTATA

1. Planificar el tratamiento con 4 campos (pelvis cajón) sin conformar. Evaluar resultados analizando $D_{m\acute{a}x}/D_{m\acute{i}n}$, D_{prom} en el target y volumen global, DVH del target y órganos de riesgo en el target y órganos de riesgo (recto y vejiga).
2. Agregar a la planificación anterior cuñas de ser necesario. Analizar los resultados y comparar con el punto 1.
3. Conformar los campos y analizar los resultados.
4. Planificar el tratamiento con 6 campos conformados 2 oblicuos anteriores, 2 oblicuos posteriores y 2 laterales. Evaluar los resultados.
5. Realizar informe final con el análisis de los resultados y elección justificada del tratamiento a ser presentado al médico para su evaluación

RECURSOS NECESARIOS:

Sistema computarizado de tratamiento y hardware asociado.

Datos de pacientes (formato DICOM). Imágenes correspondientes a un tumor de próstata con GTV, CTV y PTV y marcación de los órganos de riesgo (vejiga, recto, cabezas femorales).

Protocolo de tratamiento: calidad del haz, prescripción de dosis en target y límites de dosis en órganos de riesgo.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 3hs (sujeto a la habilidad del alumno en el manejo del planificador que tendrá a su disposición y a demanda programada)

EA
N.N.
mpuo

TRABAJO PRÁCTICO N° 10 (CIO)

PLANIFICACIÓN TRATAMIENTO DE PRÓSTATA
IMRT

OBJETIVO: a continuación del práctico N° 9 se les mostrará a los alumnos paso a paso la planificación de un tratamiento de IMRT de próstata incluyendo el control de calidad previo a la entrega del mismo.



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



mpuo

RECURSOS NECESARIOS:

Sistema computarizado de tratamiento y hardware asociado.
Software para análisis gamma planar de mapas de fluencias.
Datos de pacientes (formato DICOM). Imágenes correspondientes a un tumor de próstata con GTV, CTV y PTV y marcación de los órganos de riesgo (vejiga, recto, cabezas femorales).
Protocolo de tratamiento: calidad del haz, prescripción de dosis en target y límites de dosis en órganos de riesgo.

DURACIÓN EN LABORATORIO: 5 h

8. FÍSICA DE LA SALUD: Protección Radiológica y Radiofísica Sanitaria

7 horas semanales, 15 semanas, 105 horas

La modalidad de la asignatura es Teórico-Práctica. Los trabajos prácticos consisten en cuestionarios y lectura y análisis de artículos, actividades que se van llevando a cabo a medida que se desarrollan los temas teóricos.

1. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes: efectos estocásticos y deterministas. Modelos de proyección del riesgo. Síndrome Agudo de Irradiación (SAR). Efectos deterministas por exposición localizada. Estudios epidemiológicos. Efectos de irradiación prenatal
2. Magnitudes y unidades radiológicas. Magnitudes básicas: dosis absorbida, dosis absorbida media en un órgano, dosis equivalentes en un órgano, dosis efectiva, dosis efectiva comprometida. Irradiación y contaminación. Factores de ponderación de la radiación w_r , factor de ponderación de la sensibilidad de los diferentes órganos w_t , factor dosimétrico $h(g)$. Magnitudes operacionales: dosis equivalente individual, dosis equivalente ambiental, dosis equivalente superficial. Modelos de incorporación; relación entre magnitudes básicas y operacionales
3. Filosofía de la radioprotección: concepto de detrimento, Justificación Optimización y Limitación de dosis individuales. Exposiciones potenciales e intervenciones. Restricciones de dosis. Exposición médica, ocupacional y de miembros del público. Caso especial de trabajadoras embarazadas. Radioprotección para fuentes abiertas. Programa de protección radiológica y sistema de calidad en radioterapia
4. Instituciones internacionales: recomendaciones, normas y regulaciones. ICRP; International Basic Safety Standards. Ley Nuclear. Ley de Rayos X.

RA
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



apuro

Recomendaciones del ICRP. Autorizaciones y habilitación en radioterapia, medicina nuclear y rayos X

5. Equipos y generadores de fuentes de radiación: equipamiento médico para diagnóstico y tratamiento. Equipos de rayos X: radiografía, radioscopia, tomografía computada; intervencionismo. Equipos de medicina nuclear: cámara gamma, SPECT, PET. Equipos de telecobaltoterapia y aceleradores lineales de electrones. Principio de funcionamiento. Equipos y fuentes para Braquiterapia. Fuentes abiertas, selladas y sólidas no dispersables. Seguridad de fuentes y equipos. Normas y ensayos aplicables. Protocolos de calibración en aire y agua
6. Dosimetría de fuentes de radiación: Cálculo de dosis por irradiación con fuentes radiactivas. Cálculo por exposición con equipos de rayos X. Dosis al paciente y dosis del operador. Dosis de referencia en el paciente (BSS 115). Radioprotección y dosimetría de neutrones (1.5 semanas).
7. Blindaje: diseño de instalaciones, cálculos básicos, curvas de transmisión, Capa hemi reductora y deci reductora. Ejemplos de cálculo para radiología y radioterapia. Normativas. Diseño de instalaciones para fuentes de neutrones
8. Medición y detección de la radiación: detectores gaseosos, centelladores, semiconductores, termoluminiscentes, film monitores. Usos y características; calibración. Monitores portátiles e instrumentos para vigilancia ocupacional. Calibración de equipos, detectores y dosímetros. Estrategias de mantenimiento de los equipos
9. Criterios operacionales de radioprotección: clasificación de áreas: áreas controladas y supervisadas. Procedimientos operativos; delimitación y señalización; defensa en profundidad, cultura de la seguridad. Sistemas y procedimientos para prevención de la contaminación: cajas de guantes, filtros, campanas, protección personal. Monitoraje de áreas potencialmente contaminadas. Límites derivados y secundarios. Tecnología de los blindajes: blindajes estructurales y móviles; pantallas, ladrillos, etc. Criterios operacionales específicos para radioterapia, medicina nuclear y radiología. Almacenamiento del material y de residuos radioactivos. Técnicas de descontaminación
10. Criterios de protección del paciente: radiodiagnóstico y radioterapia. Protocolos. Programas de calidad. Técnicas de posicionamiento e inmovilización. Protecciones locales
11. Accidentes radiológicos: Descripción de accidentes en radioterapia, medicina nuclear y radiología intervencionista Criterios de prevención, detección e intervención aplicables
12. Radiaciones no ionizantes: Efectos biológicos, Ondas electromagnéticas, UV, VIS, IR. Laser. Ondas ultrasónicas. Ondas de choque. Aplicaciones en medicina

[Handwritten signature]
N.N.
apuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



mpuo

TRABAJOS PRACTICOS:

- TP1 Cuestionario efectos biológicos y criterios básicos
- TP2: Magnitudes y unidades radiológicas (problemas)
- TP3: Dosimetría y blindajes (problemas)
- TP4: Cuestionario Criterios y Normas
- TP5: Cuestionario análisis de accidentes
- TP5: Protección del paciente. Análisis de documentos UNSCEAR
- TP6: Investigación y análisis de documentación: Criterios aplicables a prácticas específicas (Radiología digital, intervencionismo, PET, Medicina Nuclear, Teleterapia, Braquiterapia)
- TP6: Visita a una instalación de radioterapia. Análisis de medidas de protección y sistemas de seguridad.

9. TÓPICOS AVANZADOS EN FÍSICA MÉDICA (Radioterapia) (Optativa en el Plan de Estudios)

6 hs. semanales, 15 semanas, 90 hs

LOS CONTENIDOS VERSAN SOBRE TÉCNICAS ESPECIALES DE LA RADIOTERAPIA

1. Radiocirugía Estereotáctica: Principios radiobiológicos. Aspectos físicos y dosimétricos. Dosimetría de campos pequeños. Definición y localización del volumen blanco. Aspectos técnicos y clínicos de: i) Gamma Knife, ii) CyberKnife, iii) Acelerador adaptado y iv) Protonterapia. Programa de Aseguramiento de la Calidad en tratamientos de Radiocirugía.
2. IMRT-Intensity Modulated Radiation Therapy: Aspectos especiales para la especificación de dosis-volumen. Optimización, algoritmos. Control de calidad: Técnicas basadas en multihojas o en filtros compensadores. Aspectos de Radioprotección. Consideraciones especiales en radiobiología. Aplicaciones. IGRT.
3. Total Body Irradiation (Irradiación Corporal Total-ICT): Principios radiobiológicos. Aspectos físicos y dosimétricos. Calibración de un haz de Rayos X de alta energía para tratamiento de ICT. Cálculo de compensadores. Dosimetría in vivo. Controles de calidad. Aspectos de Radioprotección.

[Handwritten signature]

*N.N.
mpuo*



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



mpuo

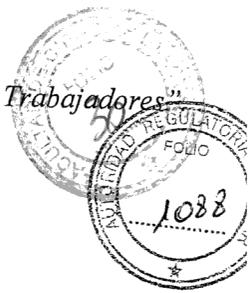
4. High Dose Total Skin electron (HDTSe-Baño de electrones): Principios radiobiológicos. Calibración de un haz de electrones. Técnica de Stanford. Aspectos dosimétricos: oblicuidad del haz, bolus, etc. Controles de calidad.

10. RADIOTERAPIA POR INTENSIDAD MODULADA (Optativa en el Plan de Estudios)

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas

1. Conceptos Básicos de tratamientos convencionales 2D y 3DCFRT: Descripción de las técnicas convencionales de irradiación y procesos de aplicación de tratamiento.
2. Limitaciones de Modalidades convencionales de tratamiento: Limitaciones terapéuticas que aparecen en las técnicas convencionales para el tratamiento de lesiones con concavidades, generación de inhomogeneidad de dosis, lesiones de difícil acceso o de morfología compleja.
3. Cómo surge la necesidad de IMRT y en qué consiste: Descripción abstracta del proceso de modulación. Soluciones que aporta la IMRT en las condiciones en que otras modalidades de tratamiento se encuentran limitadas. Limitaciones de la técnica de IMRT
4. Planificación Inversa: Descripción de un nuevo paradigma en el proceso de planificación de tratamientos en base a la imposibilidad de planificación de IMRT en forma directa. Descripción del proceso de planificación inversa y de optimización.
5. Pasaje del Cálculo a la práctica Clínica (Opciones de Modulación)
MLC Step and Shot
MLC Dinámico
Moduladores
Tomoterapia
IGRT (como upgrade)
Opciones de Gating
6. Proceso de Puesta a Punto para Suministrar Tratamientos de IMRT: Descripción de equipos de tratamiento y tolerancias para técnicas complejas. Análisis de los distintos métodos de modulación y caracterización de los materiales o métodos de modulación. Puesta a punto y comprobación del proceso de transferencia de datos entre el sistema de planificación y las estaciones que generan la modulación.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



mpuo

7. Necesidad de un sistema de QA: Por qué es necesario generar controles adicionales en IMRT y cuáles son las posibles complicaciones que se intentan evitar. Descripción de las distintas opciones de medición, sus pro y contra. Cuáles son los elementos necesarios para su puesta a punto. Diseño de controles para asegurar distribución de dosis. Análisis de resultados y comparación de distribuciones de dosis. Estudio de transferencia de datos vía DICOM RT.
8. Proceso de aplicación de tratamiento (aspectos físicos)
Selección de pacientes
Inmovilización Simulación 3D
Planificación (Optimización, Volúmenes Auxiliares)
Proceso de Validación de mapas de dosis
Posicionamiento en el equipo de tratamiento
9. Casos Clínicos Reales
Cabeza y cuello
Próstata
Pulmón

11. RADIOBIOLOGÍA Y DOSIMETRÍA

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas

1. Introducción: Datos históricos sobre el descubrimiento de la radiactividad, y evolución de la radiobiología. Interacción de las radiaciones ionizantes con la materia viva. Conceptos básicos de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud humana.
Discusión de artículos científicos
2. Clasificación de las Radiaciones Ionizantes: Conceptos Básicos. Transferencia lineal de energía (LET), eficacia biológica relativa (RBE), Magnitudes dosimétricas: dosis absorbida, factores de ponderación de la radiación. Dosis equivalente, factores de ponderación de los tejidos. Dosis Efectiva. Dosis Colectivas.
Discusión de artículos científicos
3. Elementos de Biología Molecular y Celular: Estructuras y funciones celulares. Estructura y topología del ADN. Mecanismos genéticos básicos: transcripción, traducción, replicación.
Discusión de artículos científicos
4. Elementos de Biología Molecular y Celular: Regulación de la expresión genética. Mecanismos de muerte celular: muerte mitótica, apoptosis y necrosis. Telómeros y senescencia celular.

[Handwritten signature]
N.N.
[Handwritten signature]



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



Yuro

Discusión de artículos científicos

5. Genética y cáncer: Bases genéticas del cáncer humano. Oncogenes. Genes supresores de tumores. Modelos de herencia Mendeliana. Genes Mutadores. Alteraciones cromosómicas y cáncer.
Discusión de artículos científicos
6. Genética y cáncer: Carcinogénesis. Radiosensibilidad individual. Patologías humanas asociadas a hipersensibilidad a RI.
Discusión de artículos científicos.
7. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Secuencia entre absorción de energía y consecuencias biológicas. Efectos deterministas y estocásticos. Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el tejido normal. Organización tisular, respuesta de los tejidos flexibles y jerarquizados. Concepto de dosis umbral, de tolerancia y DL50. Síndrome agudo de radiación, síndrome cutáneo radioinducido. Carcinogénesis radioinducida. Efectos en células de la línea germinal. Defectos congénitos.
Discusión de artículos científicos
8. Efectos celulares de las radiaciones ionizantes.
Respuesta celular a las radiaciones ionizantes. Radiosensibilidad. Sus modificadores químicos: radioprotectores, radiosensibilizadores (implicancias en radioterapia). Factores que modifican la respuesta celular: efecto oxígeno, concepto de OER. Relación dosis-efecto. Evaluación de radiosensibilidad tumoral: ensayos clonogénicos y no clonogénicos. Test predictivos de radiosensibilidad de células normales. Curvas de supervivencia celular. Modelo LQ. Valores de a y de b.
Trabajo Práctico: Ensayo Clonogénico.
9. Efectos celulares de las radiaciones ionizantes.
10. Efectos consecuentes a exposiciones a dosis bajas: Efecto "bystander".
Respuesta Radioadaptativa. Inestabilidad genómica
Discusión de Artículos científicos.
Trabajo Práctico: Ensayo Clonogénico.
11. Efectos genéticos de las radiaciones ionizantes: Efectos sobre la molécula de agua. Efecto directo e indirecto y tipos de daño producidos sobre la molécula de DNA. Mecanismos de reparación del daño radioinducido: BER, NER, recombinación homóloga y NHEJ
Trabajo Práctico: Ensayo Cometa. Primera Parte
12. Efectos genéticos de las radiaciones ionizantes: Apoptosis radioinducida. Daño inicial y residual: influencia de la dosis, tasa de dosis y calidad de la radiación. Alteraciones cromosómicas inducidas. Factores genéticos y epigenéticos.
Trabajo Práctico: Ensayo Cometa. Segunda Parte

N.N.
Yuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuro

13. Dosimetría biológica: Metodologías utilizadas en los estudios de dosimetría biológica: Cromosomas dicéntricos, micronúcleos, Curvas dosis-efecto, estimación de irradiaciones parciales, dosimetría retrospectiva. Trabajo Práctico: Ensayo de Micronúcleos. Observación microscópica de aberraciones cromosómicas estructurales (dicéntricos, anillos)
14. Radiobiología clínica: Radiodiagnóstico, Radioterapia, fraccionamiento de la dosis. Importancia de la dosis en el tratamiento. Trabajo Práctico: tareas de interacción con el Laboratorio de Radioterapia.
15. Radiobiología clínica: Tejidos con respuesta temprana y tardía. Cinética de proliferación tumoral. Hipoxia-reoxigenación, redistribución en el ciclo, repoblación.
16. Examen integrativo

Las clases serán desarrolladas mediante actividades teórico-prácticas, en las cuales los contenidos conceptuales serán reforzados con el desarrollo de habilidades cognitivas tales como el análisis y discusión de trabajos científicos y prácticas de laboratorio.

ÁREA IMÁGENES MÉDICAS Y MEDICINA NUCLEAR

12. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BIOMÉDICAS (Optativa en el Plan de Estudios)

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas.

La duración promedio de cada tópico está programada de 1.5 semanas (entre teoría y práctica).

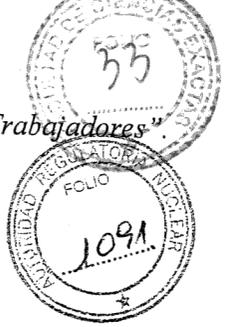
1. Introducción. Representación digital de una imagen. Representación binaria. Ruido. Percepción de imágenes: brillo, contraste, luminiscencia. Visión en color. Etapas del procesamiento de imágenes. Sistemas lineales. Características. Procesos aleatorios. Correlación. Densidad Espectral.
2. Muestreo y cuantización de imágenes. Teorema del muestreo. Velocidad de Nyquist. Aliasing. Teoría del muestreo en 2D. Reconstrucción de imágenes a partir de sus muestras. Limitaciones prácticas en el muestreo y reconstrucción. Cuantización de la imagen. Distintos tipos de cuantizadores. Cuantizador óptimo. Compandor.

mpuro
N. N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo

3. Transformaciones de Intensidad. Modificación de los niveles de gris. Histogramas. Filtros digitales. Filtrado espacial. Correlación. Convolución. Filtro espacial lineal. Filtro espacial no lineal. Filtros en el dominio frecuencial. Pasa bajos. Pasa altos. Transformada discreta de Fourier. Transformada rápida de Fourier. Uso de herramientas de cálculo computacional.
4. Restauración de imágenes. Modelos de degradación de la imagen. Filtrado inverso. Filtro de Wiener. Restauración en el dominio espacial.
5. Transformaciones morfológicas. Erosión y dilatación. Combinación de dilatación y erosión. Reconstrucción morfológica. Opening y closing. Escala de grises. Uso de herramientas de cálculo computacional.
6. Segmentación de imágenes. Detección de punto, línea y borde. Método de umbral basado en el histograma. Búsqueda de mínimos. Reconocimiento de patrones. Segmentación mediante agrupación de píxeles. Segmentación basada en el cálculo de los bordes.
7. Modelos de compresión de imágenes. Codificación de Huffman. Compresión con pérdida de información. Estándares para la compresión de imágenes.
8. Imágenes digitales en Medicina: DICOM. Formato de archivos. Servicios. Transmisión de imágenes en la red. Búsqueda de imágenes. Protocolo de comunicación entre sistemas. Integración de equipamiento. Uso de herramientas de cálculo computacional.
9. Representación de formas y descripción. Esquemas de representación. Códigos de cadena. Aproximaciones poligonales. Esqueleto de una región. Descriptores de contorno: longitud, curvatura, números de forma. Descriptores de regiones. Descriptores de Fourier. Textura.

Trabajos Prácticos:
Procesamiento del Pixel
Análisis de Fourier FTT
Filtros Especiales

A continuación cada alumno realiza un trabajo especial, por ejemplo:

- * Cálculo de la función gamma, DTA y diferencia entre imágenes para verificar la calidad del tratamiento radiante
- * Transformaciones geométricas
- * Lectura de Imágenes en formato Dicom
- * Segmentación
- * Reconocimiento de patrones
- * Creación de base de datos con información de Servicios de Medicina Nuclear, generación de mapas polares correspondientes y validación del método comparando

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo los resultados obtenidos por software con el diagnóstico visual realizado por los especialistas del servicio.

13. TÉCNICAS DE RADIOANÁLISIS

4 horas semanales, 15 semanas, 60 horas

Las temáticas están programadas para ser desarrolladas, en promedio, una por semana. Algunos Trabajos Prácticos de esta asignatura se cursan en el Hospital Italiano de La Plata, con el cual la Universidad Nacional de La Plata ha suscripto un Convenio.

1. Introducción Radiofármacos. Aplicaciones de las técnicas de Medicina Nuclear. Historia. Métodos de diagnóstico: técnicas in vitro, in vivo y técnicas de radioanálisis (radiométricas). Uso en terapia. Aplicaciones de las técnicas radiométricas. Definición de radiofármacos. Producto farmacéutico. Medicamento. Generalidades de Farmacología. Definiciones: droga o principio activo, fármaco, medicamento. Medicamento: componentes. Definiciones: farmacología general, farmacología especial, biofase, farmacocinética, farmacodinamia.
2. Farmacocinética. Absorción, distribución, metabolismo y excreción. Vías de administración, de absorción, de metabolismo y de excreción. Pasaje de medicamentos a través de membranas biológicas: difusión simple, difusión facilitada, difusión acoplada al sodio, transporte activo y ultrafiltración. Metabolismo o biotransformación. Definiciones: reacción química, catalizador, enzima. Reacciones de Fase I (no sintéticas) y de Fase II (sintéticas). Consecuencias del metabolismo de drogas. Excreción renal de fármacos. Cinética de dosis única: de eliminación y de absorción. Cinética de acumulación. Cinética de eliminación: modelos farmacocinéticos. Cinética de eliminación de orden 1 y de orden 0. Parámetros farmacocinéticos: vida media de eliminación, clearance o depuración, volumen de distribución. Relación entre los parámetros farmacocinéticos: área bajo la curva (ABC). Cinética de absorción: modelo unicompartamental con administración vía oral. Biodisponibilidad. Influencia de la vía de administración y de la preparación farmacéutica. Influencia de distintas dosis del mismo fármaco. Cinética bicompartamental. Cinética de acumulación. Resolución de ejercicios.
3. Farmacodinamia. Definiciones: fármaco y medicamento. Acciones de los medicamentos. Drogas de acción específica y drogas de acción inespecífica. Mecanismos de acción inespecífica: extracelulares, intracelulares y mixtos. Mecanismos de acción específica: teoría de la interacción droga-receptor. Ley de acción de masas. Curva dosis - respuesta: obtención de datos matemáticos y de parámetros farmacodinámicos. Características de la interacción en presencia

MP
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

mpuro

de agonista, agonista parcial, antagonista. Variaciones individuales y poblacionales de las respuestas a los fármacos: supersensibilidad. Taquifilaxia y Tolerancia. Resolución de ejercicios.

4. Farmacología Clínica. Reseña histórica. Ensayo clínico: requerimientos éticos y legales. Normas éticas. Objetos de estudio. Farmacología preclínica. Estudios en animales. Fases de la Farmacología Clínica: Fase I, Fase IIa y Fase IIb, Fase III y Fase IV. Farmacovigilancia. Tipos de reacciones adversas: dosis dependientes (con dosis terapéuticas o dosis mayores a las terapéuticas) y dosis independientes. Objetivos de la farmacovigilancia.
5. Normas de seguridad en un laboratorio de medicina nuclear. Radiaciones ionizantes. Rango o Alcance. Organizaciones Internacionales involucradas en la Protección Radiológica: ICRP, ICRU, UNSCEAR y IAEA. Autoridad Regulatoria Nuclear en la Argentina. Efectos biológicos de la Radiaciones Ionizantes: Determinísticos y estocásticos. Principios básicos de la Protección Radiológica: Justificación, Optimización y Limitación de dosis. Limitación de dosis: exposición ocupacional y del público. Contaminación externa e interna. Irradiación. Contaminación interna: vías de entrada. Medidas básicas de seguridad radiológica para un laboratorio de fuentes no selladas. Medición de contaminación de superficies: Test del barrido (wipe test). Medidas de protección contra la irradiación: Actividad, tiempo, distancia y blindaje. Exposiciones potenciales. Requisitos mínimos de un laboratorio. Requisitos mínimos de una instalación. Áreas controladas y supervisadas. Exenciones. Gestión de residuos Radiactivos. Control de exposición ocupacional: uso de monitores de radiación. Conceptos de: Dosis Absorbida (D), Dosis Equivalente (H), Dosis Efectiva (E), Exposición (X), Tasas.
6. La detección de la radiación. Características generales de los detectores. Tipos de detectores basados en la ionización: gaseosos y sólidos. Tipos de detectores basados en la excitación: líquidos y sólidos. Activímetro. Introducción. Diagrama de flujo en la preparación de un radiofármaco. Principios básicos del funcionamiento de los activímetros. Descripción de un activímetro. Obtención de la lectura. "Escalas" del activímetro. Principios de funcionamiento de los detectores gaseosos, Programa de Control de Calidad para calibradores: lectura de fondo, sensibilidad, estabilidad, exactitud, precisión y linealidad. Influencia de factores geométricos y del blindaje. Control periódico. Situaciones ante las que se debe recalibrar. Resolución de problemas. Detectores de Centelleo. Espectrometría de centelleo líquido. Fundamento, fenómenos de centelleo. Principios de operación del equipo de centelleo líquido. Material radiactivo y su medición por centelleo líquido. Preparación de muestras para ser medidas por centelleo líquido: sustancia marcada, solvente y centelleador. Transferencia de Energía en la solución centelleadora. Detección por centelleo líquido: Características. Desventajas. Quenching (físico, químico y de color) y los diferentes métodos de medición y corrección. Interferencia en el

AA
N.N.
mpuro



mpuro

contaje y en el análisis de espectros (quimioluminiscencia y fosforescencia).
Producción de efecto Cerencov.

7. Aspectos estadísticos de la medicina nuclear. Actividad absoluta y actividad medida. Estadística de las mediciones radiactivas. Distribuciones de frecuencias: posición y dispersión. Media aritmética como medida de posición. Desviación Standard, Desviación Standard relativa y desviación estándar relativa porcentual como medidas de dispersión. Estadística de poblaciones y estadísticas muestrales. Distribución de frecuencias: distribución de Poisson y Distribución Gaussiana. Desviación Standard de la media, de la actividad y de la actividad neta. Máxima precisión en la determinación de la actividad neta de una fuente. Prueba del Chi-cuadrado. Trabajo práctico sobre Estadística de las mediciones radiactivas.
8. Repaso de las Leyes de desintegración y magnitudes dosimétricas. Definición y análisis de los siguientes conceptos: actividad, unidades, período de semidesintegración ($T_{1/2}$). Medición de actividad. Tasa de conteo. Eficiencia. Patrones. Concentración de actividad y Actividad específica. Realización de problemas relacionados con el trabajo en el laboratorio de medicina nuclear.
9. Aspectos generales de Radiofármacos. Radiofármacos. Introducción. Desarrollo de un radiofármaco: elección del radionucleído y de la forma química. Producción de radionucleídos: generadores de radionucleídos, generador de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, otros generadores. Radionucleídos en medicina nuclear. Propiedades del Tecnecio: preparación de radiofármacos de $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Radiofármacos de $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Radiofármacos de Yodo. Emisores de positrones. Forma física y administración de los radiofármacos. Mecanismos de localización de radiofármacos: mecanismos sustrato no específicos y mecanismos sustrato específicos.
10. Generadores: Principio básico de funcionamiento. Descripción. Cinética de aparición de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en la columna. Curva de elución del generador. Cálculo de la actividad eluída: Utilización de tablas. Otros generadores. Bases teóricas de la Cromatografía en capa delgada (TLC) como método de control de un radiofármaco.
11. Radiofármacos en terapia. Propiedades de los radionucleídos terapéuticos. Criterios de selección según características físicas y químicas. Emisores alfa, electrones Auger y de conversión. Potenciales emisores beta para radioterapia interna. Especificidad en el delivery de radiofármacos. Terapia tumoral: Radioinmunoterapia (RIT) con anticuerpos monoclonales y RIT basada en el sistema avidina-biotina. Radiotrazadores análogos de hormonas: análogos de somatostatina y noradrenalina. Terapia paliativa del dolor en metástasis óseas. Sinovectomía radioisotópica. Otras terapias: ^{90}Y - microesferas para el tratamiento de hepatocarcinoma. Conceptos de actividad/concentración de actividad/actividad específica.

N.N.
mpuro



mpuo

12. Trabajo de Laboratorio: preparación de un radiofármaco. Control diario del activímetro: Control de Fondo y de Estabilidad. Elución del generador $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$: efecto del fraccionamiento en la actividad del eluido. Preparación de un radiofármaco. Control de pureza del radiofármaco: controles fisicoquímicos y control de pureza radioquímica.
13. Radiofármacos para PET. Emisores de Positrones. Aniquilación del positrón. Obtención de la imagen. Factibilidad de uso de los distintos emisores de positrones. Producción de emisores de positrones: ciclotrones. Producción de Radiofármacos marcados con emisores de positrones: módulos de síntesis. Principales radiofármacos del ciclotrón médico. Compuestos marcados con ^{11}C y con ^{18}F . Síntesis de ^{18}F - fluorodioxiglucosa (FDG). Fundamento de la visualización de tumores con ^{18}F -FDG. Metabolismo de la glucosa en una célula normal y en una célula tumoral.
14. Aplicaciones de los radiofármacos en Medicina Nuclear. Radiofármacos de diagnóstico. Vías de administración: oral, parenteral, inhalación, intratecal, subcutánea, intracavitaria. Mecanismos de localización: sustratos no específicos y sustratos específicos.

Seminarios a cargo de los alumnos: Evaluación del Sistema Nervioso Central: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD. Radiofármacos para evaluación de la tiroides: ^{131}I , ^{123}I y $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Radiofármacos para Imágenes Cardiovasculares. Evaluación de la función Pulmonar; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA. Radiofármacos utilizados en el estudio renal: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA. Radiofármacos utilizados en el estudio óseo: Pirofosfato.

14. FÍSICA DE LAS IMÁGENES MÉDICAS

5 horas semanales, 15 semanas, 75 horas

El desarrollo de cada temática lleva aproximadamente entre 1.5 y 2 semanas.

1. Interacciones entre radiación y materia: Cuantificación de espesores materiales, definición de espesor de materia o gramaje. Ejemplos. Procesos de interacción en el seno de un medio material, concepto de sección eficaz, probabilidad de interacción y camino libre medio. Pasaje de electrones por la materia. Pérdidas de energía por ionización. Electrones "knock-on". Radiación de frenado (Bremsstrahlung). Longitud de radiación y energía crítica. Interacción de fotones con un medio material. Efecto fotoeléctrico. Dispersión de Rayleigh. Efecto Compton. Creación de pares.

W.N. mpuo



mpuro

2. Rayos X: Tubos para la generación de rayos X. Características principales. Espectros de emisión de rayos X. Líneas características. Rangos de energía usuales de los rayos X utilizados en aplicaciones médicas. Absorción de rayos X. Coeficiente de absorción. Definición. Variación del coeficiente de absorción con el material y con la energía de la radiación incidente. Procesos dominantes de absorción de rayos X en los rangos de energía de uso médico.
3. Radiología convencional: Aspectos teóricos básicos de la formación de imágenes radiográficas. Intensidad en la placa. Contraste. Dependencia del contraste con la energía de los rayos incidentes. Factores que alteran las características de la imagen. Parámetros usuales de control de las condiciones de irradiación: voltaje, corriente, tiempo de exposición. Emisión secundaria. Grillas antidifusoras.
4. Tomografía axial computada: Obtención de imágenes tomográficas bidimensionales. Descripción general del método y conceptos fundamentales. Medición de intensidades transmitidas. Proyecciones. Sinogramas. Técnicas de barrido de primera, segunda y tercera generación. Reconstrucción de la imagen por retroproyección de Fourier. Transformada de Radon. Transformada de Fourier bidimensional. Algoritmo de reconstrucción en el caso continuo. Transformada de Fourier discreta. Reconstrucción con datos discretos. Calidad de la reconstrucción. Artefactos en la imagen. Algoritmos de reconstrucción para barridos de tercera generación. Reconstrucción tridimensional. Métodos iterativos de reconstrucción tomográfica. Método de Kaczmarz. Método SART. Método MLEM.
5. Imágenes en medicina nuclear: Técnicas de incorporación de elementos radioactivos en el cuerpo a estudiar. Producción de señales in situ. Transformación y propagación. Métodos de detección. Estudios PET y SPET. Sinogramas característicos. Algoritmos de reconstrucción. Analogías y diferencias con los algoritmos de reconstrucción tomográfica. Algoritmos algebraicos. Corrección por atenuación. Factor de atenuación (ACF).
6. Ultrasonido diagnóstico: Ondas sonoras tridimensionales. Propagación de ondas sonoras en medios materiales inhomogéneos. Índice de refracción e impedancia acústica. Ondas reflejadas y transmitidas. Coeficiente de reflexión. Características de las ondas acústicas de uso habitual en aplicaciones médicas. Principio de formación de imágenes ecográficas. Barridos de tipo A, B, y C. Métodos de reconstrucción. Efecto Doppler acústico. Ecografía Doppler.
7. Resonancia magnética nuclear: Momento magnético nuclear. Propiedades. Dinámica de momentos nucleares en campos magnéticos externos. Frecuencia de Larmor. Distribuciones estadísticas de momentos magnéticos en muestras finitas. Dinámica de la magnetización. Ecuaciones de Bloch. Procesos de relajación de tipos 1 y 2. Interacción con campos electromagnéticos

[Signature]
N. N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear

DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuro

radiofrecuentes. Respuesta del sistema a pulsos de radiofrecuencia. Pulsos de 90 y 180 grados. Secuencias pulso-respuesta típicas. Respuesta del sistema en el caso de campos magnéticos inhomogéneos. Gradientes de campo magnético.

8. Imágenes por resonancia magnética (IRM): Ejemplo básico de producción de IRM por retroproyección. Analogía con el caso de tomografía computada. IRM por transformada de Fourier. Fundamentos del método. Codificación en fase. Secuencias de pulsos. Algoritmo de reconstrucción. Equipamiento de IRM. Producción del campo magnético central. Imanes superconductores. Bobinados usuales para producción de gradientes de campo magnético. Sistemas para emisión y recepción de señales radiofrecuentes. Técnicas avanzadas de IRM. Medición de T1 y T2. Tiempo de inversión Ti. Desplazamiento químico. Angiografía por RM. Supresión de tejidos adiposos. IRM funcional (fMRI). Clasificación de tejidos.
9. Elementos de procesamiento de imágenes digitales: Las imágenes digitales, definición. Muestreo y cuantización. Formatos de almacenamiento de imágenes digitales. Relación entre tamaño de una imagen, resolución y profundidad. Transformaciones para el mejoramiento de imágenes. Operaciones lógicas y aritméticas entre imágenes. Modificación del histograma de una imagen. Etapas en el procesamiento de imágenes médicas. Formatos usuales de almacenamiento de imágenes médicas. El protocolo de intercambio de información DICOM. Ejemplos prácticos.

15. LABORATORIO EN IMÁGENES MÉDICAS

Esta asignatura se cursa en el Hospital de Niños Sor María Ludovica del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, con el cual la Universidad Nacional de La Plata ha suscripto un Convenio.

8 horas semanales, 15 semanas, 120 horas.

En promedio, cada tema se desarrolla en aproximadamente una semana.

Objetivos

- 1) Proveer experiencia clínica y práctica en radiología, ecografía, tomografía computada, resonancia magnética y medicina nuclear a través de asistencia a exámenes para visualizar las demandas teóricas de software y hardware.
- 2) Traducción de la anatomía y fisiopatología por los distintos métodos de diagnóstico por Imágenes.
- 3) Familiarizar al estudiante con los distintos controles de calidad que debe recibir el equipamiento y cuantificar las bases físicas de los distintos métodos.

N.N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuro

Contenidos

Trabajo práctico N° 1

- A) Introducción a un servicio de Diagnostico por Imágenes, reconocimiento de las distintas áreas. Rol del físico médico
- B) Planificación de cursada con concurrencia en horarios de asistencia médica

Trabajo práctico N° 2

- A) Radiodiagnóstico. Tubo de rayos X. Equipamiento. Mesas telecomandadas, equipos móviles, arcos en C

Trabajo práctico N° 3

- A) Traducción por densidades radiológicas de la anatomía y fisiología
- B) Procesamiento de placas radiológicas

Trabajo práctico N° 4

- A) Absorción con placas de distinto espesor
- B) Ejercicios con fantasmas
- C) Introducción a la radiología digital

Trabajo práctico N° 5

- A) Trabajo práctico con Ingeniero de Servicio de Mantenimiento

Trabajo práctico N° 6

- A) Tomografía computada. Demostración de equipamientos y software
- B) Traducción tomográfica de las estructuras anatómicas
- C) Trabajo de medición de densidades

Trabajo práctico N° 7

- A) Trabajo práctico con ingeniero de Servicio de Mantenimiento de Tomografía Computada

Trabajo práctico N° 8

- A) Hemodinámica. Demostración de equipamiento y software
- B) Trabajo práctico con Servicio de mantenimiento

Trabajo práctico N° 9

- A) Medicina Nuclear. Demostración de equipamiento y software
- B) Demostración de práctica en cuarto caliente
- C) Calibración de dosis
- D) Controles de calidad

Trabajo práctico N° 10

- A) Trabajo práctico con ingeniero de Servicio de Mantenimiento de Ecografía

Trabajo práctico N° 11

- A) Ecografía. Introducción al método

[Handwritten signature]
N. N.
[Handwritten signature]



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores".



mpuro

- B) Demostración de equipamiento y software
- C) Traducción ecográfica de las estructuras anatómicas

Trabajo práctico N° 12

- A) Trabajo práctico con Ingeniero de Servicio de Mantenimiento de Ecografía

Trabajo práctico N° 13

- A) Resonancia Magnética
- B) Demostración de equipamientos y software. Secuencias. Intensidades de señal.

16. FÍSICA DE LA MEDICINA NUCLEAR

5 horas semanales, 15 semanas, 75 horas

La modalidad de la asignatura es Teórico-Práctica. Los trabajos prácticos consisten en problemas de aplicación que se van realizando a medida que se desarrollan los temas teóricos.

1. Introducción: El problema de la imagen en Medicina Nuclear. Funcionamiento de un Servicio de Medicina Nuclear. El problema de las fuentes abiertas (5 horas)
2. Activímetros: Tipo de activímetros. Diagrama de funcionamiento. Rendimiento. Fondo. Exactitud. Precisión. Linealidad. Generadores ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$. (5 horas)
3. Cámara Gamma: Diagrama de bloque. Colimadores. Parámetros característicos y criterios de diseño. Cristal detector. Características. Proceso de obtención de la imagen (Principio Anger). Asociación Cámara Gamma-Computadora. Espectros de energía. Densidad de información. Relación señal / mido. Imágenes estáticas, dinámicas y sincronizadas con señal de ECG. Parámetros de adquisición y procesamiento de la imagen. Filtros de alisamiento. Resolución espacial, energética y temporal. Contraste de lesiones frías y calientes. (7 horas)
4. SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography): Diagrama de bloque. Gantry. Nuevos desarrollos tecnológicos en SPECT. Algoritmos de reconstrucción tomográfica. Filtros. Parámetros característicos. Frecuencia de Nyquist. Relación con las características de la imagen. Parámetros de adquisición y procesamiento. Relaciones de interdependencia. Relación señal / ruido. Algoritmos de corrección de atenuación. Estudios sincronizados con señal de ECG. (8 horas)
5. PET (Tomografía por Emisión de Positrones): Isótopos emisores de positrones de interés en Medicina Nuclear. Principio de detección del PET. Principio de Generación de la imagen. Esquema funcional. Parámetros característicos.

MP
N. N.
mpuro



spuro

Fuentes de transmisión. Corrección del fenómeno de la atenuación. Ciclotrón. Generadores. Sistemas híbridos o PET no dedicado. (8 horas)

6. Control de Calidad: Concepto de control de calidad. Protocolos NEMA. TEC-DOC (IAEA). Parámetros característicos de una Cámara Gamma, SPECT y PET. Determinación y Frecuencias. Fuentes y Fantomas (5 horas)
7. Radioterapia Metabólica: Radionucleídos para Radioterapia metabólica. Controles de calidad. Farmacodinamia y fármacoquinesis. Radiofármacos metabolizables. Cálculos de dosis. Dosis efectiva. Modelos biocinéticos. Modelos para radiofármacos buscadores de hueso. (5 horas)
8. Dosimetría Interna

Conceptos básicos para dosimetría interna. Introducción a la dosimetría interna. Complejidades respecto de la dosimetría externa. Evolución del uso de radioisótopos en la práctica médica. Radionucleídos útiles para el radiodiagnóstico y el tratamiento de enfermedades. Órganos blancos. Órganos de riesgo. Conceptos básicos: Tipos de radiación: alfa, beta, gamma, electrones Auger. Equilibrio electrónico. Tasa de dosis. Dosis absorbida. Dosis equivalente. Dosis efectiva. Interacción de la radiación con la materia en dosimetría interna. Radiobiología en medicina nuclear.

Sistemas Dosimétricos. Introducción. Sistemas Marinelly / Quimby. Sistema de la International Commission on Radiological Protection – ICRP. Sistema del Comité de la Medical Internal Radiation Dosimetry – MIRD. Hipótesis del sistema MIRD. Ecuaciones principales. Sistema RADAR.

Metodología MIRD. Sistema MIRD continuación: limitaciones de la metodología MIRD. Aproximación de resto del cuerpo. Adaptación del esquema MIRD a la dosimetría específica para el paciente. La implementación en la dosimetría interna: adquisición de datos, modelos biocinéticos y metodología de cálculo.

Determinación de la actividad acumulada. Introducción. Modelos biocinéticos. Obtención de la actividad acumulada. Consideraciones teóricas y prácticas. Determinación del área bajo la curva. Ajuste exponencial. Regresión. Modelos compartimentales.

Fantomas antropomórficos. Introducción. Fantomas físicos estandarizados. Evolución de los fantomas. Necesidad de fantomas específicos. Modelos del cuerpo humano. Modelos de órganos MIRD: Cabeza y Cerebro, Glándula Prostática, Cavidad Peritoneal, Esferas de Densidad Unitaria y su aplicación tumores y órganos pequeños. Adaptabilidad de los fantomas a las características individuales.

Trabajo Práctico. Uso de recursos de sitios web y aplicación de software de cálculo. Recursos para la Dosimetría Interna en Medicina Nuclear: Introducción Recursos MIRD: pamphlets y reports. Sistema RADAR. Libros específicos. Software de cálculos de dosis. Software de modelaje biocinético.

La dosimetría de médula ósea. Introducción. Complejidad de la dosimetría de la médula ósea y el hueso. Abordaje de la dosimetría a este órgano radiosensible. Cálculo de la actividad integrada en médula ósea. Factores de conversión de dosis para médula ósea. Dosimetría de médula ósea específica del paciente. Correlación de la dosis con

BA
N.N
spuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



apuro
los efectos. Revisión de los modelos existentes.
Dosimetría específica del paciente basada en imágenes. Alcances y limitaciones de la instrumentación para la dosimetría basada en imágenes. Experiencia del grupo DIMN. Protocolos de trabajo. El rol de las simulaciones con el método Monte Carlo en dosimetría. Fantomas corporales voxelizados.
(32 horas)

9. Tratamiento de imágenes de pacientes (al menos 5) para la dosimetría interna.

Aplicación práctica del concepto de dosimetría específica para evitar el riesgo de un tratamiento inapropiado o que pudiera dañar al paciente. Empleo del método en dosis terapéuticas de ^{131}I en el tratamiento del cáncer diferenciado de tiroides y en el tratamiento del dolor de las metástasis óseas con $^{153}\text{Sm-EDMP}$.

Las horas correspondientes a este Trabajo Práctico formarán parte de las 1500 horas de práctica clínica activa.

10. Revisión (una semana)

17. LABORATORIO EN MEDICINA NUCLEAR

Esta asignatura se cursa en el Hospital Italiano de La Plata, con el cual la Universidad Nacional de La Plata ha suscripto un Convenio, y en el Departamento de Física de la UNLP.

7 horas semanales, 15 semanas, 120 horas

Cada trabajo práctico, con su análisis y discusión, se lleva a cabo aproximadamente en las 2 sesiones semanales que contempla el curso.

Objetivos y contenidos

- * Proveer experiencia clínica y práctica en medicina nuclear a través de sesiones de laboratorio en un servicio de medicina nuclear donde se apliquen estas técnicas físicas.
- * Familiarizar al estudiante con la calibración de varios tipos de equipos de uso corriente en terapia y diagnóstico de medicina nuclear.

A.- Cámara Gamma

En todos los casos que sea posible las determinaciones se efectuarán como parámetros extrínsecos e intrínsecos.

LD
N.N.
apuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo

Trabajo Práctico N° 1:
Uniformidad Planar. Dependencia con la energía del isótopo y los colimadores. Influencia sobre la calidad de la imagen. Formas de evaluación de la uniformidad planar.

Trabajo Práctico N° 2:
Resolución Espacial Planar. Dependencia de la energía del isótopo, los colimadores y dependencia con el medio dispersor y la distancia fuente – detector.

Trabajo Práctico N° 3:
Resolución en Energía. Dependencia del isótopo y la calidad del cristal.

Trabajo Práctico N° 4:
Resolución Temporal. Determinación del Máximo Número de Cuentas.

Trabajo Práctico N° 5:
Contraste. Formas de evaluación. Dependencia del número de cuentas, del tamaño de matriz, del medio dispersor y de la ventana de energía.

B.- SPECT

Trabajo Práctico N° 6
Determinación de la uniformidad tomográfica. Dependencia con la uniformidad planar.

Trabajo Práctico N° 7
Determinación del centro de rotación. Influencia de sus desajustes sobre la calidad de las imágenes. Determinación automática y manual.

Trabajo Práctico N° 8
Para el caso de SPECT con dos cabezales, determinación de los parámetros característicos de cada cabezal y evaluación de la influencia de las diferencias entre ambos.

Trabajo Práctico N° 9
Determinación de los parámetros característicos del sistema como cámara gamma y comprobación de la influencia de dichos parámetros sobre la calidad de las imágenes.

Trabajo Práctico N° 10
Determinación de la variación de los parámetros con la rotación del/los cabezales. En particular se analizará la variación de la uniformidad planar para diferentes ángulos del cabezal.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

"2011 - Año del Trabajo Decente, la Salud y Seguridad de los Trabajadores"



mpuo

Trabajo Práctico N° 11

Determinación de la performance del sistema. Mediante la adquisición de imágenes de un fantoma tomográfico, evaluación de la uniformidad tomográfica, y contraste tomográfico.

C.- PET

Trabajo Práctico N° 12

Determinación de la fracción de radiación dispersa.

Trabajo Práctico N° 13

Determinación del pico NEC (Noise equivalent count).

Trabajo Práctico N° 14

Determinación de la uniformidad tomográfica, resolución espacial.

Trabajo Práctico N° 15

Determinación del contraste de lesiones frías y calientes.

Trabajo Práctico N° 16

Determinación del SUV (Standard Uptake Value).

18. TÓPICOS AVANZADOS EN FÍSICA MÉDICA (Medicina Nuclear) (Optativa en el Plan de Estudios)

Esta asignatura se cursa en el Hospital Italiano de La Plata, con el cual la Universidad Nacional de La Plata ha suscripto un Convenio.

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas

1. Medicina Nuclear, operando con radioisótopos emisores de fotones: Implementación y aplicación de un Programa de Control de Calidad según protocolos NEMA y lineamientos de TEDOC -602/S. Su aplicación en los siguientes equipos:
 - a) Activímetro
 - b) Cámara Gamma.
 - c) SPECT (Single Photon Emission Tomography)
2. Medicina Nuclear, operando con radioisótopos emisores de positrones: Implementación y aplicación de un Programa de Control de Calidad según protocolos NEMA, UN 2-2001. Su aplicación en el siguiente equipo:
 - a) PET (Positron Emission Tomography)

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



mpuro

3. Reconocimiento y corrección de artefactos en imágenes de Medicina Nuclear:
 - a) Deficiencias de los parámetros de adquisición y procesamiento
 - b) Deficiencia de los parámetros de calidad del equipo
 - c) Movimientos voluntarios y/o fisiológicos del paciente
 - d) Fenómeno de la atenuación
 - e) Radiación dispersa
 - f) Efecto del volumen parcial
4. Aplicación de protocolos de cuantificación de las imágenes:
 - a) Curvas de recuperación del contraste. Aplicación clínica
 - b) Programas para determinar cuantificaciones relativas. Aplicación clínica
 - c) Programas de cuantificación de imágenes dinámicas.
 - d) SUV (Standar Uptake Value). Aplicación clínica en el PET.
5. Blindaje:
 - a) Cálculo de blindajes para radiación gamma y beta.
 - b) Cálculo y evaluación de blindajes específicos para servicios de medicina nuclear
 - c) Cálculo de blindajes para servicios PET. Sistemas de ventilación.
6. Normativa y calidad:
 - a) Normas y Resoluciones aplicables a Servicios de MN.
 - b) Control de calidad de radiofármacos. Síntesis y control de calidad de ^{18}FDG .
7. Residuos radioactivos: Gestión de residuos radiactivos. Aislamiento. Almacenaje. Eliminación. Características de los residuos en MN. Transporte. Reglamentación. Criterios de aceptación. Garantía de calidad.

D. ÁREA OPTATIVAS

Se adjuntan a continuación los contenidos de dos asignaturas optativas que se consideran de un mayor interés para la carrera.

1. ELECTRÓNICA AVANZADA

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas

1. Señal y ruido. Caracterización del ruido de un sistema. Ruido propio y ruido externo.
Mecanismos para la optimización de la relación S/N. Modelo de interferencias del cuerpo humano.

EA
N.N.
mpuro



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

2. Señales biológicas de interés para diagnóstico médico. Caracterización y registro de biopotenciales. Electrodo. Sensores y transductores. Aplicaciones para la determinación de parámetros fisiológicos de utilidad para diagnóstico.
3. Procesamiento, transmisión y registro de señales. Amplificadores de instrumentación. Amplificadores para uso biomédico. Filtros. Demodulación sensible a fase.
4. Generación y registro de imágenes. Fotografía, cámaras, intensificadores de imagen, CCD. Ecografía, Rayos X. Tomografía computada. Resonancia magnética.
5. Seguridad eléctrica. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica. Sistema de distribución de energía. Diseño de equipamiento: normas y regulaciones.

2. APLICACIÓN DE SIMULACIONES COMPUTACIONALES EN FÍSICA MÉDICA

6 horas semanales, 15 semanas, 90 horas

1. Métodos de Simulación Computacional: Monte Carlo, Dinámica Molecular, etc. Fundamentos teóricos del Método Monte Carlo. Generadores de números aleatorios. Muestreo simple y sopesado. Modelos y algoritmos. Ejemplos.
2. Fractales: Fractales deterministas y estadísticos. Autosimilaridad y autoafinidad. Sistemas desordenados. Percolación. Aplicación: Caracterización de redes vasculares.
3. Caminantes aleatorios. Fenómenos de transporte en medios desordenados y fractales. Procesos de difusión y reacción anómalos. Aplicación: Modelado de redes vasculares. Catálisis y reacciones heterogéneamente catalizadas. Aplicación: Simulación de modelos arquetípicos (oxidación de monóxido de carbono, etc.).
4. Transición de fase y fenómenos críticos. Sistemas en equilibrio. Sistemas fuera del equilibrio, estados estacionarios. Simulación de modelos arquetípicos: Modelo de Ising con dos estados, Modelo de Percolación, etc. Aplicación: modelo para el movimiento auto-organizado de células. Modelos de Ising generalizados para la simulación de tumores.
5. Modelos de crecimiento. Deposición aleatoria y balística. Agregados formados en procesos limitados por difusión. Teoría de escala dinámica para la evolución de interfaces auto-afines. Aplicación: Crecimiento de tumores vasculares, Tumores compactos (modelo de Eden). Otros modelos. Interfaces de tumores en crecimiento.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo



Autoridad Regulatoria Nuclear
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION



mpuo

6. Propagación epidémica. Proceso de Contacto. Estados activos y estados absortivos. Aplicación: Modelos para canales de calcio del retículo endoplasmático. Propagación de epidemias.
7. Autómatas celulares. Modelado y simulación dinámica mediante autómatas celulares. Aplicación: Modelos para el sistema inmunológico, dinámica del SIDA (HIV), Malaria, etc.
8. Ecuaciones diferenciales: Ecuaciones de Reacción-Difusión y Ecuación Maestra. Solución numérica. Modelos deterministas y modelos estocásticos. Aplicación: Canales de Calcio en células, Epidemiología, Dengue, Crecimiento de Tumores, etc.

[Handwritten signature]
N.N.
mpuo