PROTONTERAPIA: HACIA UNA DESCRIPCIÓN MÁS PRECISA DEL TRANSPORTE DE PROTONES EN AGUA LÍQUIDA UTILIZANDO EL CÓDIGO MONTE CARLO MDM-ION

Brussino Francisco[1] , **Tessaro Verónica B.**[1 2] , **Strubbia Mangiarelli Camila**[1 2 3] , **Galassi Mariel E.**[1 2]

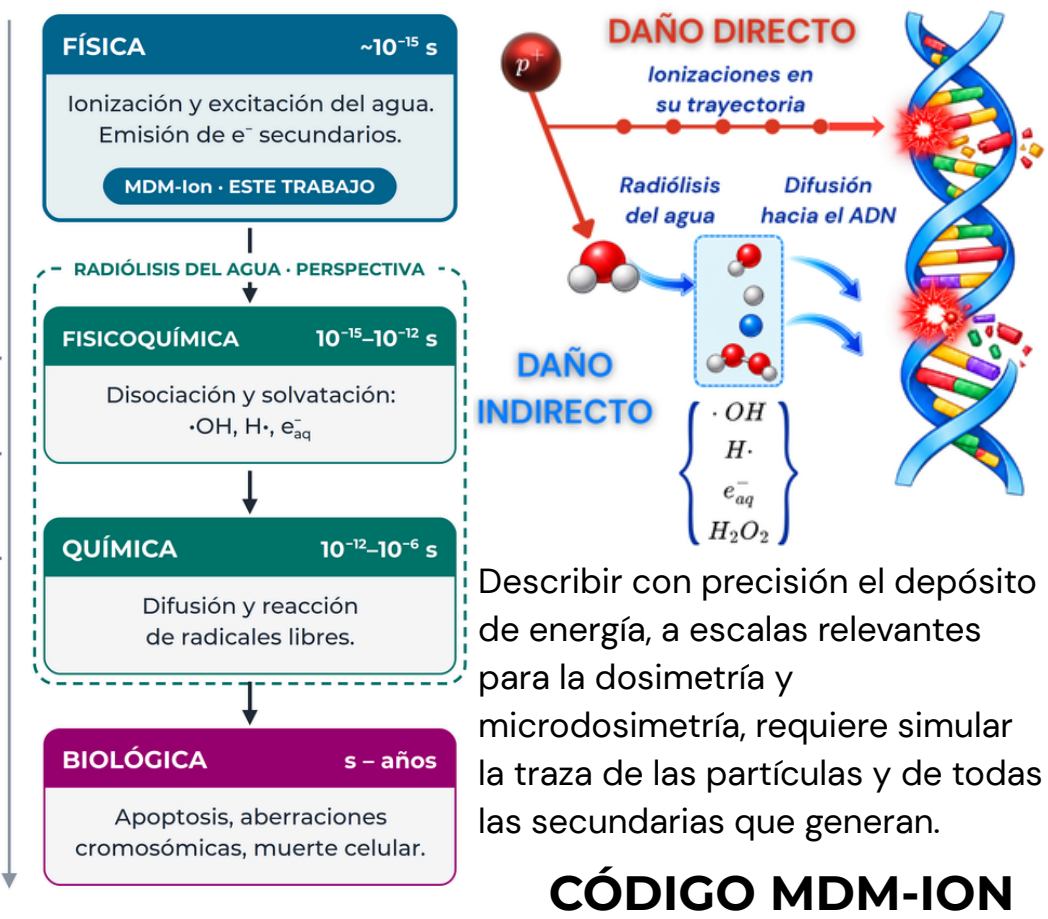
[1] Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), Rosario
[2] Grupo de Física Biomédica, Instituto de Física de Rosario (IFIR)
[3] Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon (IP2I), CNRS/IN2P3, Université Lyon 1, 69100 Villeurbanne, France

XX Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación

INTRODUCCIÓN

La **protonterapia** es un tipo de radioterapia que emplea protones como partículas incidentes. Concentra la dosis en el tumor, preserva tejido sano circundante.





Describir con precisión el depósito de energía, a escalas relevantes para la dosimetría y microdosimetría, requiere simular la traza de las partículas y de todas las secundarias que generan.

CÓDIGO MDM-ION

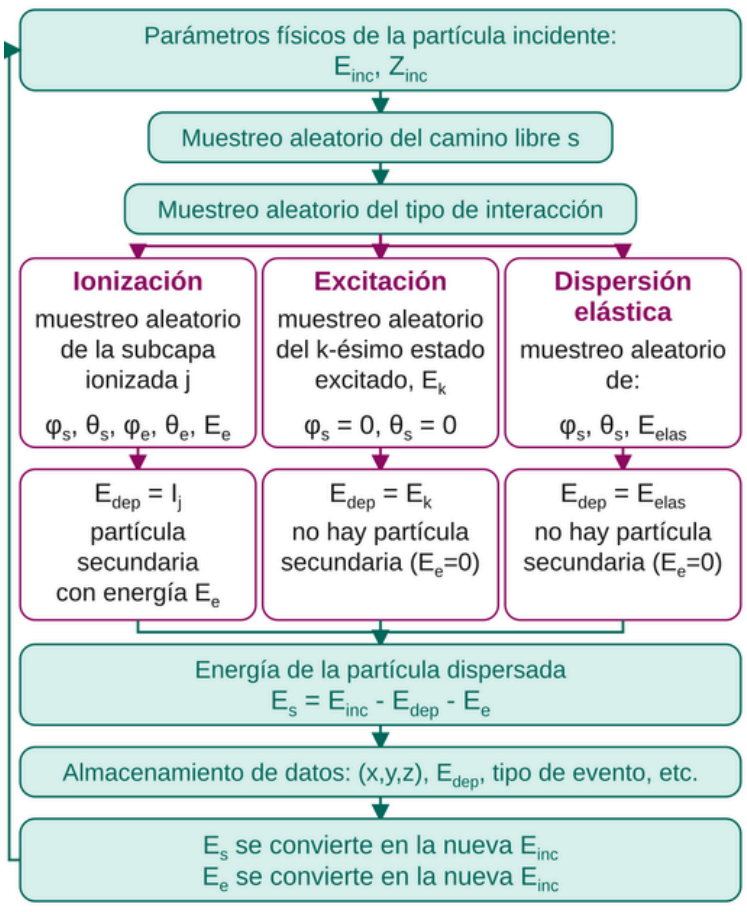
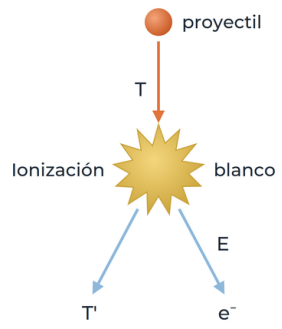


Fig. Diagrama de flujo del código MDM en la simulación de la traza de electrones. "s" = scattered, "e" = emitted, "inc" = incident, "dep" = deposited.



Ionización: proceso dominante (Descripto por la sección eficaz simple diferencial SESD)

- Monte Carlo de estructura de traza: simula cada interacción individual, colisión a colisión.
- Cada traza es una secuencia estocastica gobernada por:

1. una función densidad de probabilidad por proceso
2. un generador de N° aleatorios
3. un método de muestreo → **muestreo de transformación inversa**

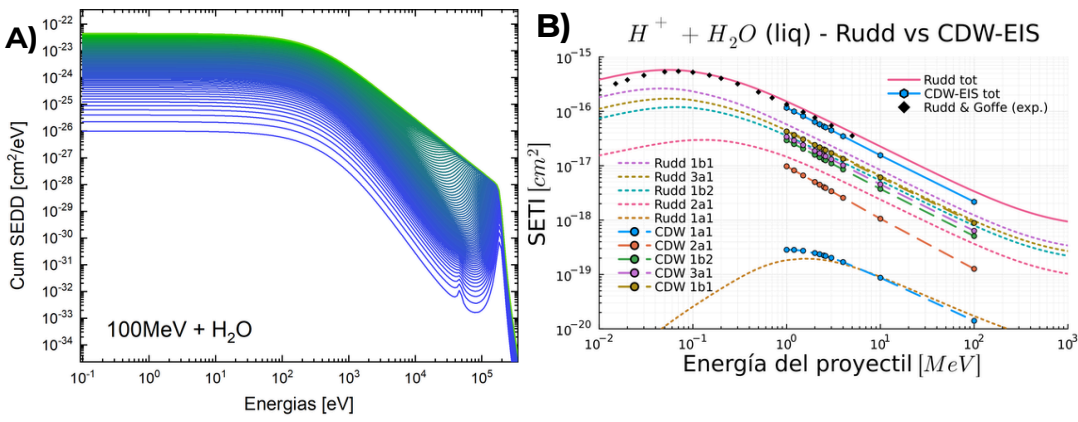
MODELOS - Secciones Eficaces Ionización

Rudd

- Modelo semiempírico, ajustado a datos.
- Solo calcula SESD.
- Costo computacional bajo (formula analítica)

CDW-EIS

- Modelo perturbativo, primeros principios.
- Calcula SESD y SEDD (dist. angular resuelta)
- Costo computacional alto (tablas numéricas)



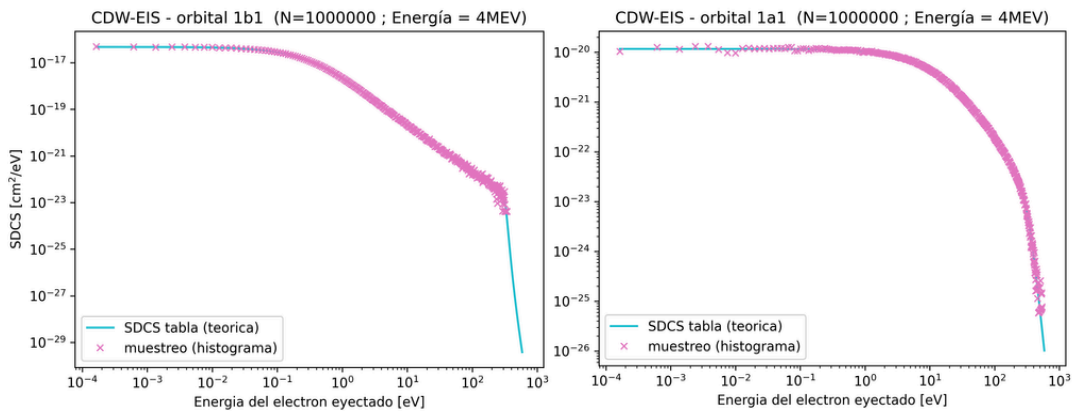
A) SEDD (sección eficaz doble diferencial) de distintos angulos en función de la energía. **B)** SE total de ionización para cada orbital del H2O liq. calculada con el modelo de Rudd y CDW-EIS + Valores experimentales de Rudd-Goffe.

RESULTADOS

VALIDACIÓN DEL MUESTREO: SESD CDW-EIS

A través del MDM-Ion se muestrearon N electrones generados en el proceso de ionización, a través del método mencionado. Se generó un histograma con las energías resultantes y se comparó contra la SESD teórica CDW-EIS.
Se cuentan la cantidad de electrones (Ni) correspondientes a un intervalo de energía ΔW:

$$\frac{N_i}{N\Delta W} \approx \frac{1}{\sigma_{tot}} \frac{d\sigma}{dW}\bigg|_{W_i}$$



Chequeo por histograma, orbital 1b1, N=1E6

Chequeo por histograma, orbital 1a1, N=1E6

VALIDACIÓN INTEGRAL: PODER DE FRENADO (S)

$$S_{mas} = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{dT}{dx}\right)$$

Pérdida de energía por unidad de longitud. Gran fuente de incerteza en dosimetría.

E (MeV)	Rudd +Exc(GS)	CDW-EIS +Exc(GS)	ICRU 90
1	280,1	281,2	260 ± 10
10	46,0	48,7	46 ± 2
100	7,3	6,7	7,3 ± 0,3

SP Másico (MeV.cm²/g): MDM-Ion vs. ICRU 90

CONCLUSIÓN

1. CDW-EIS fue implementado computacionalmente en MDM-Ion, incorporando la descripción energético-angular de los electrones secundarios sin costo computacional adicional. Además reproduce consistentemente las distribuciones energéticas de los electrones secundarios.
2. Se observan diferencias de un 24%~36% entre las SE totales de Rudd vs. CDW-EIS, aunque solo se ven reflejadas en diferencias desde 1% hasta 9% en los valores de SP.
3. A altas energías, la diferencia de SP respecto de ICRU 90 es compatible con efectos relativistas asociados a la modelización adoptada por CDW-EIS. Se incorporarán estas correcciones y una carga efectiva dependiente de la energía para extender el modelo a bajas energías.

REFERENCIAS

1. S. Incerti et al. Int J. Model. Simul. Sci. Comput. 1 (2010) 157.
2. V. B. Tessaro, B. Gervais, F. Poignant, M. Beuve, M. E. Galassi. Radiat. Phys. Chem. 88 (2021) 71.
3. M. E. Rudd, Y. K. Kim, D. H. Madison, T. J. Gay. Rev. Mod. Phys. 64 (1992) 441.
4. M.E. Galassi, R.D. Rivarola, M. Beuve, G.H. Olivera, P.D. Fainstein. Phys Rev A. 62 (2000) 022701.
5. B. Gervais, M. Beuve, G. H. Olivera, M. E. Galassi. Radiat. Phys. Chem. 75 (2006) 493.
6. V. B. Tessaro. Tesis doctoral en cotutela, Universidad Nacional de Rosario - Université Claude Bernard Lyon 1 (2022).