

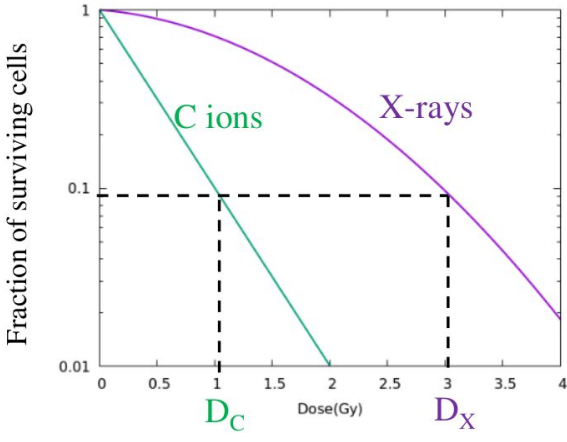
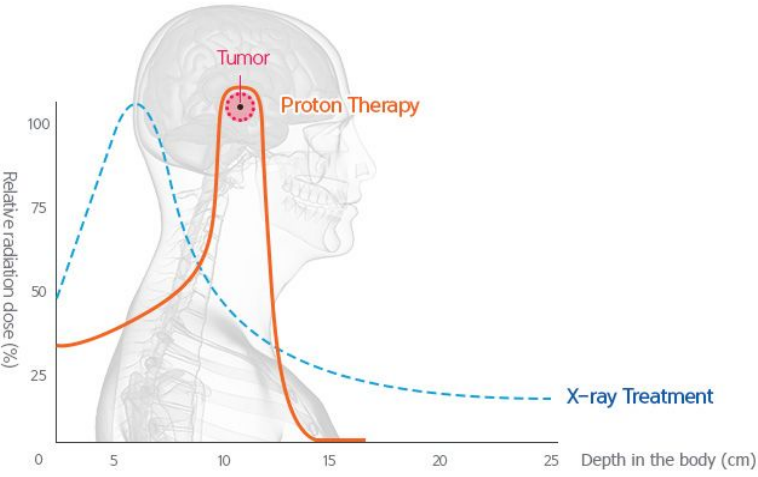
PROCESOS DE IONIZACIÓN DE CAPAS INTERNAS Y SU IMPACTO EN LA PREDICCIÓN DE LA SUPERVIVENCIA CELULAR MEDIANTE EL MODELO BIOFÍSICO NANOX EN HADRONTERAPIA

STRUBBIA MANGIARELLI, Camila^{1,2,3,*}; ALCOCER-ÁVILA, Mario³; TESSARO, Verónica B.^{1,2}; BEUVE, Michael³; GALASSI, Mariel E.^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario (UNR), Rosario S2000, Argentina
²Grupo de Física Biomédica - IFIR (CONICET - UNR), Rosario S2000, Argentina
³Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS/IN2P3, IP2I Lyon, UMR 5822, Villeurbanne, France
*cstrubbia@ifir-conicet.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La **hadronterapia** utiliza protones e iones para irradiar tumores, aprovechando su perfil característico de deposición de energía.

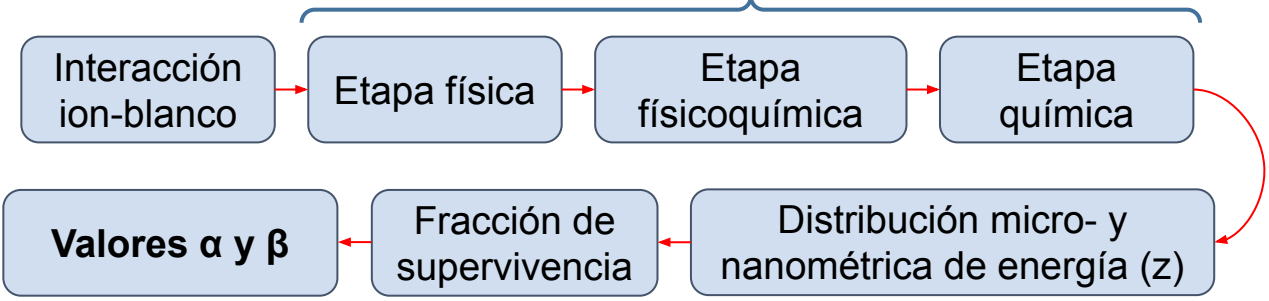


El modelo biofísico **NanOx** [1,2] predice la **fracción de supervivencia** celular, $S(D)$, ante la radiación ionizante, teniendo en cuenta los **efectos estocásticos** de la radiación hasta el nivel nanométrico.

$$S(D) = e^{-(\alpha D + \beta D^2)}$$

Flujo de cálculo NanOx:

simulación Monte Carlo en agua líquida (código LPCHEM [3])



$D_{\text{bio}} = D_{\text{fis}} \times \text{RBE} \rightarrow \text{RBE} = (D_{\text{ref}}/D_{\text{ion}})_{\text{isoeffecto}}$

OBJETIVO: Analizar cómo los procesos de ionización de capas internas influyen en la respuesta biológica, cuantificada mediante α (pendiente de la curva de supervivencia celular), para la línea celular CHO-K1 irradiada con iones H^+ , He^{2+} y C^{6+} a diversas energías de incidencia.

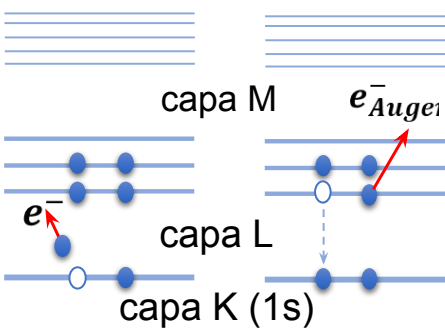
METODOLOGÍA

En la etapa física de la interacción ion-molécula de agua → se realizaron 1000 simulaciones independientes con el código Monte Carlo LPCHEM para los distintos iones:

Diferentes escenarios considerados:

- 1) Sin ionización capa 1s.
- 2) Ionización 1s presente, se suprime la cascada postcolisional de electrones Auger.
- 3) Cascada Auger generada, pero sus electrones no se siguen en la simulación.

Cascada Auger



Parámetros de la línea celular

- Diámetro del núcleo celular
- α_r y β_r para fotones
- Función local letal efectiva [4]:

$$F(z) = \frac{h}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{z - z_0}{\sigma} \right) \right]$$

z_0 : umbral
 σ : magnitud del aumento
 h : nivel de saturación

RESULTADOS y DISCUSIÓN

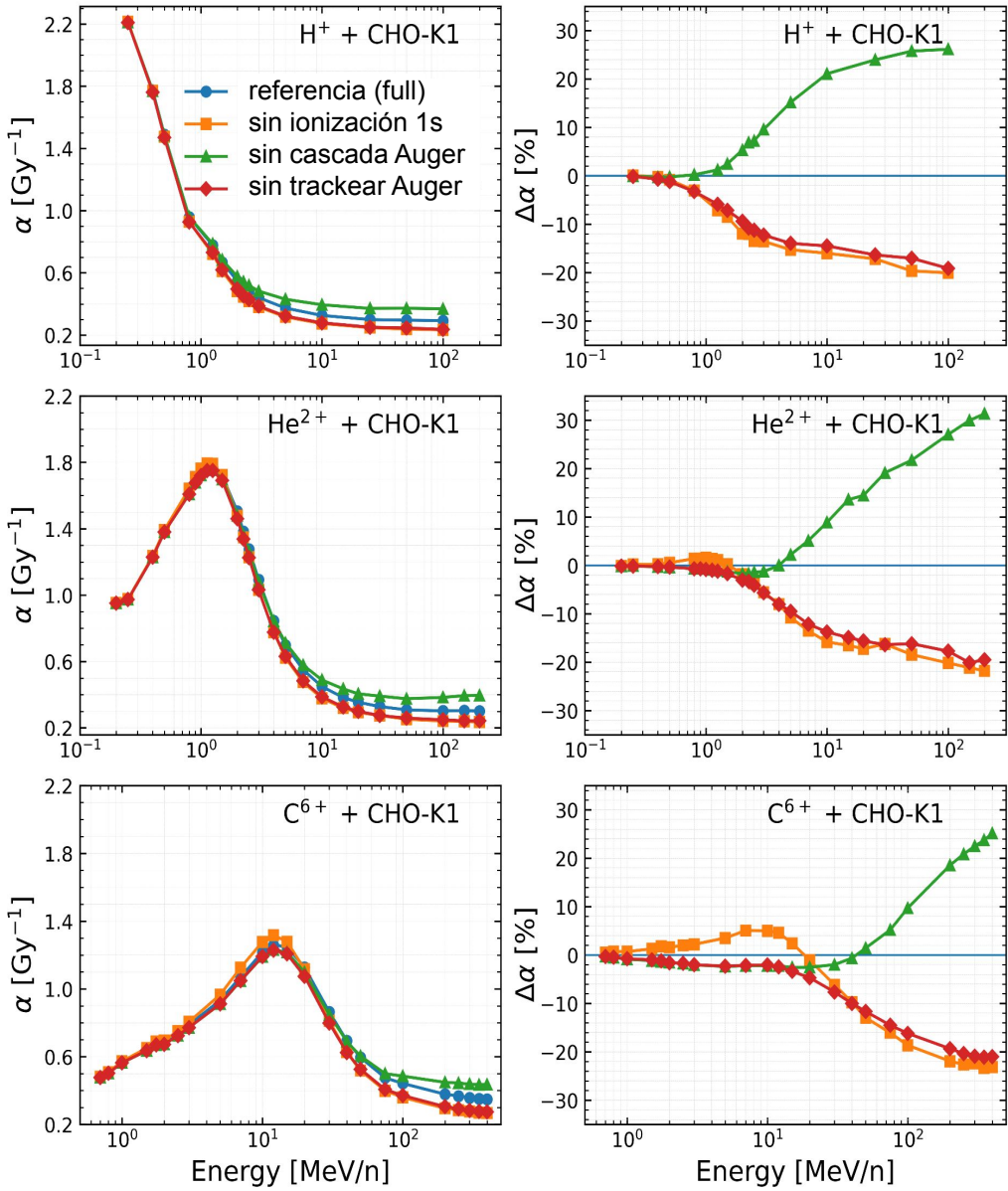


Figura: Valores α para la línea celular CHO-K1 irradiada con iones de H^+ , He^{2+} y C^{6+} , y su $\Delta\alpha=(\alpha_i-\alpha_{\text{full}})*100/\alpha_{\text{full}}$ correspondiente. *i*: escenario 1, 2 o 3.

- Suprimir la ionización 1s redujo α para H^+ en todo el rango estudiado, y para He^{2+} y C^{6+} a energías moderadas y altas. A bajas energías de He ($< 5 \text{ MeV/n}$) y C ($< 15 \text{ MeV/n}$), en cambio, α aumenta levemente, porque el modelo completo ya se encuentra en la región de saturación de la función letal local (efecto overkill).
- Suprimir la cascada Auger dio lugar al valor más alto de α debido al depósito artificial de energía local.
- No seguir a los electrones Auger también disminuye α , debido a una pérdida inducida de energía.

CONCLUSIONES

- La descripción de la ionización de capas internas y de la relajación de electrones Auger puede modificar significativamente el coeficiente α predicho por NanOx.
- Las variaciones de α pueden ser considerablemente mayores que las de LET (Transferencia Lineal de Energía), lo que evidencia la relevancia de la distribución nanométrica de la energía en el marco del modelo.
- Conectar interacción radiación-materia con radiobiología multiescala requiere una descripción detallada de los procesos físicos.

AGRADECIMIENTOS y FINANCIAMIENTO

CONICET, FCEIA-UNR, European Commission Horizon MSCA-SE Project MAMBA, LABEX PRIMES, University of Lyon 1, ANR

REF

