

CAPÍTULO IV. Aplicación de NJOY.

Introducción

El código NJOY fue aplicado para generar las bibliotecas de datos nucleares para ser utilizadas en las simulaciones de celdas de combustible realizadas con el código MCNPX. NJOY cuenta con una interfaz con la que podemos obtener gráficas de las secciones eficaces de los nuclidos a diferentes temperaturas. En el Anexo se describe brevemente cómo se pueden generar las gráficas con una o más curvas.

Como parte del trabajo de tesis se prepararon las bibliotecas de datos nucleares que se muestran en la Tabla 3, y que pueden ser utilizadas en el código MCNPX para la simulación de celdas de combustible.

Tabla 3. Bibliotecas generadas útiles para el código MCNPX [1]

Isótopo	Temperatura (K)
He 3	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
He 4	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Pu 238	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Pu 239	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Pu 240	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Pu 241	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Pu 242	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Si 28	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Si 29	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Si 30	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
U 234	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
U 235	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
U 238	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Zr 90	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Zr 91	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Zr 92	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Zr 94	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
Zr 96	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
C natural	293.15, 300, 400, 500, 600, 800, 900, 1200 y 1500
O 16	1500
Th 232	1500

a. Gráficas de secciones eficaces

En este capítulo haremos la comparación de las secciones eficaces obtenidas a 300K y 1200K para el Uranio 235, Uranio 238, e Hidrógeno 1, solamente para observar el comportamiento de los neutrones en los procesos en los cuales interactúan con los núcleos atómicos de esos isótopos. Se distinguen principalmente cuatro secciones eficaces: total, captura, dispersión y fisión.

Sección eficaz total para el Uranio 235

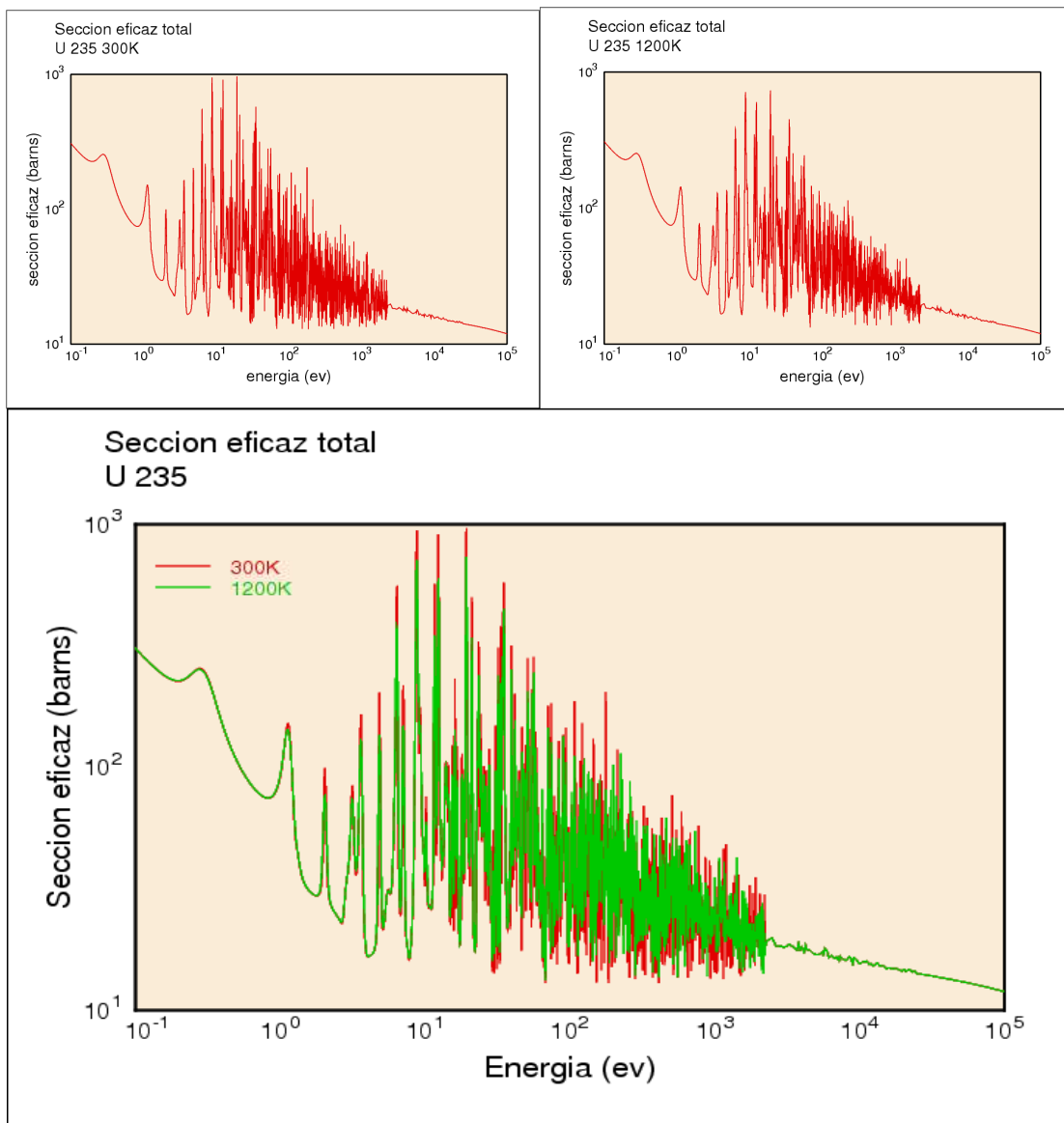


Figura 25. Sección eficaz total del ^{235}U . [8]

Recordando que la sección eficaz total mide la probabilidad de que una interacción de cualquier tipo ocurra cuando los neutrones golpean un objetivo, podemos observar que para el Uranio 235 a una temperatura de 300K la sección eficaz tiene mayor variación en las oscilaciones de resonancia que a la temperatura de 1200K debido al ensanchamiento Doppler que se presenta a mayores temperaturas.

Sección eficaz de captura para el Uranio 235

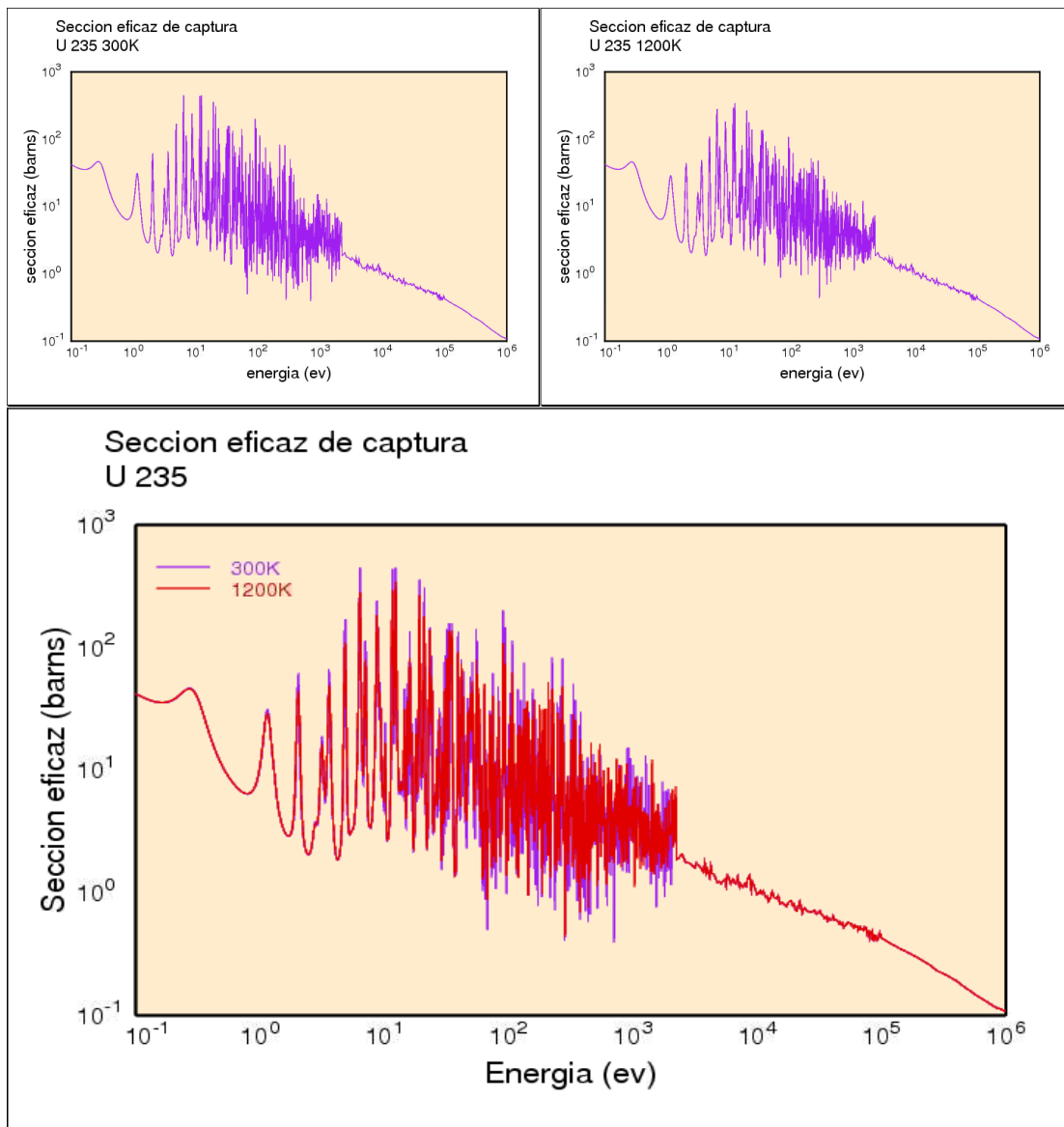


Figura 26. Sección eficaz de captura del ^{235}U . [8]

Sección eficaz de dispersión elástica para el Uranio 235

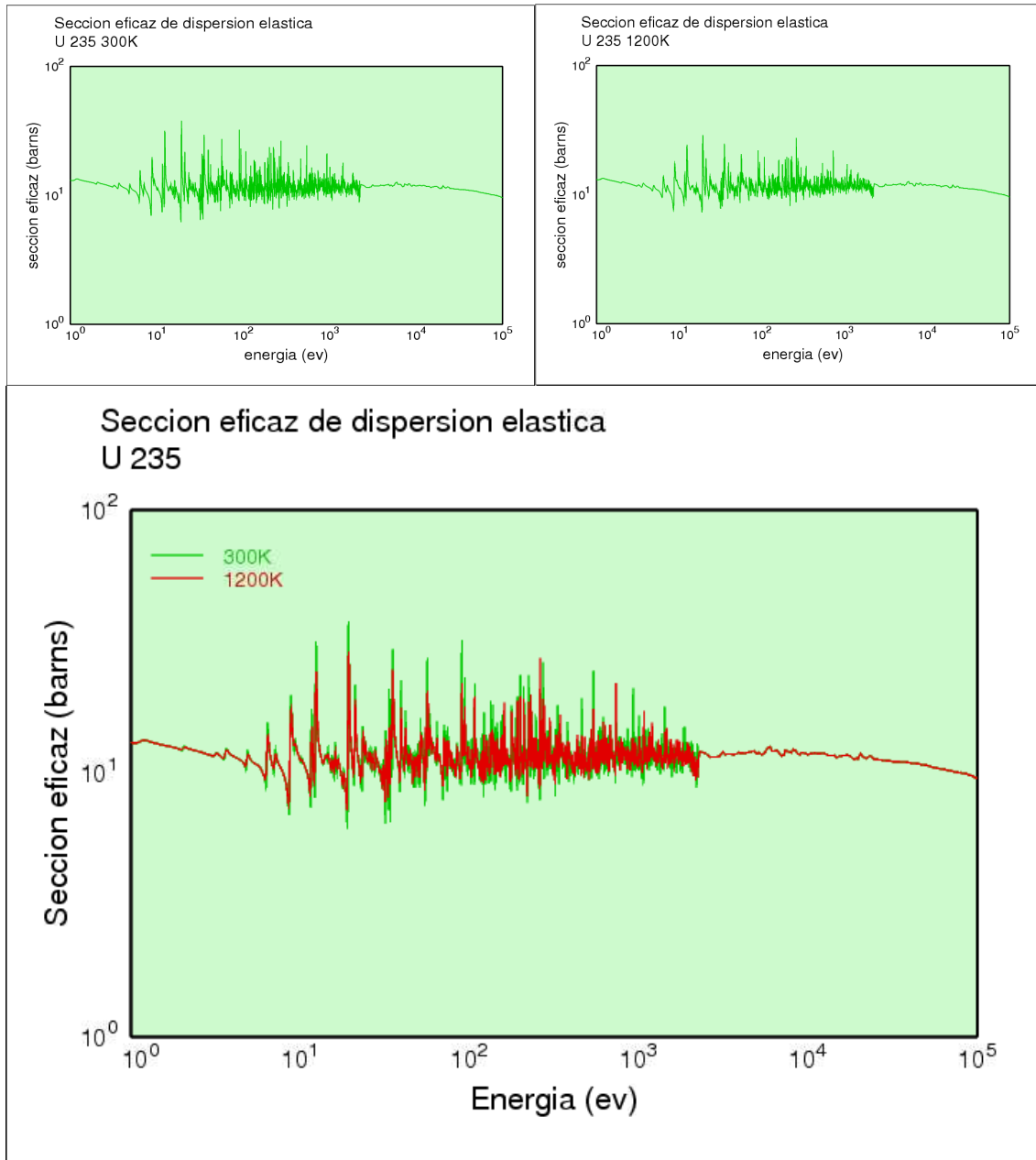


Figura 27. Sección eficaz de dispersión elástica del ^{235}U . [8]

Sección eficaz de fisión para el Uranio 235

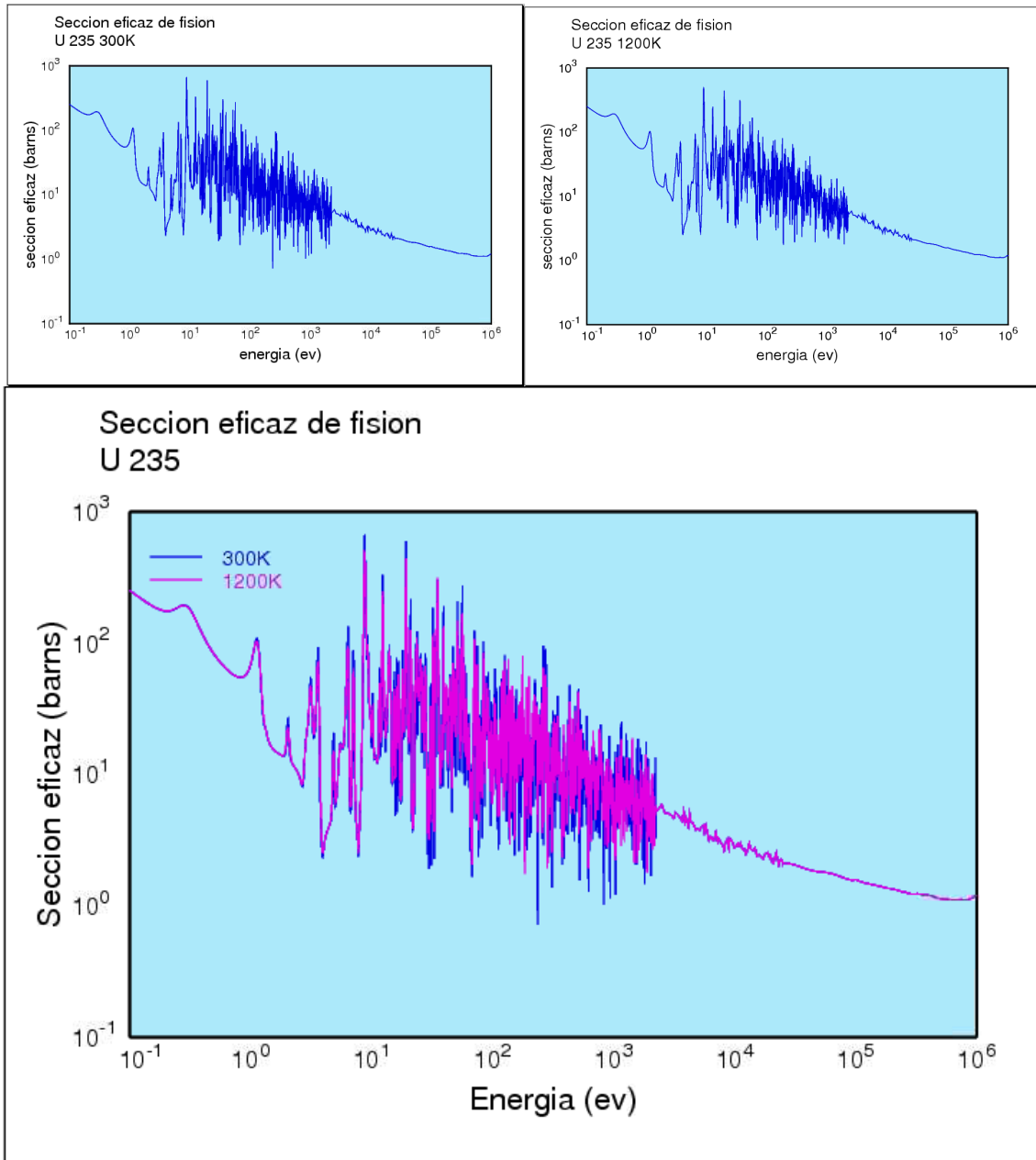


Figura 28. Sección eficaz de fisión del ^{235}U . [8]

Sección eficaz total para el Uranio 238

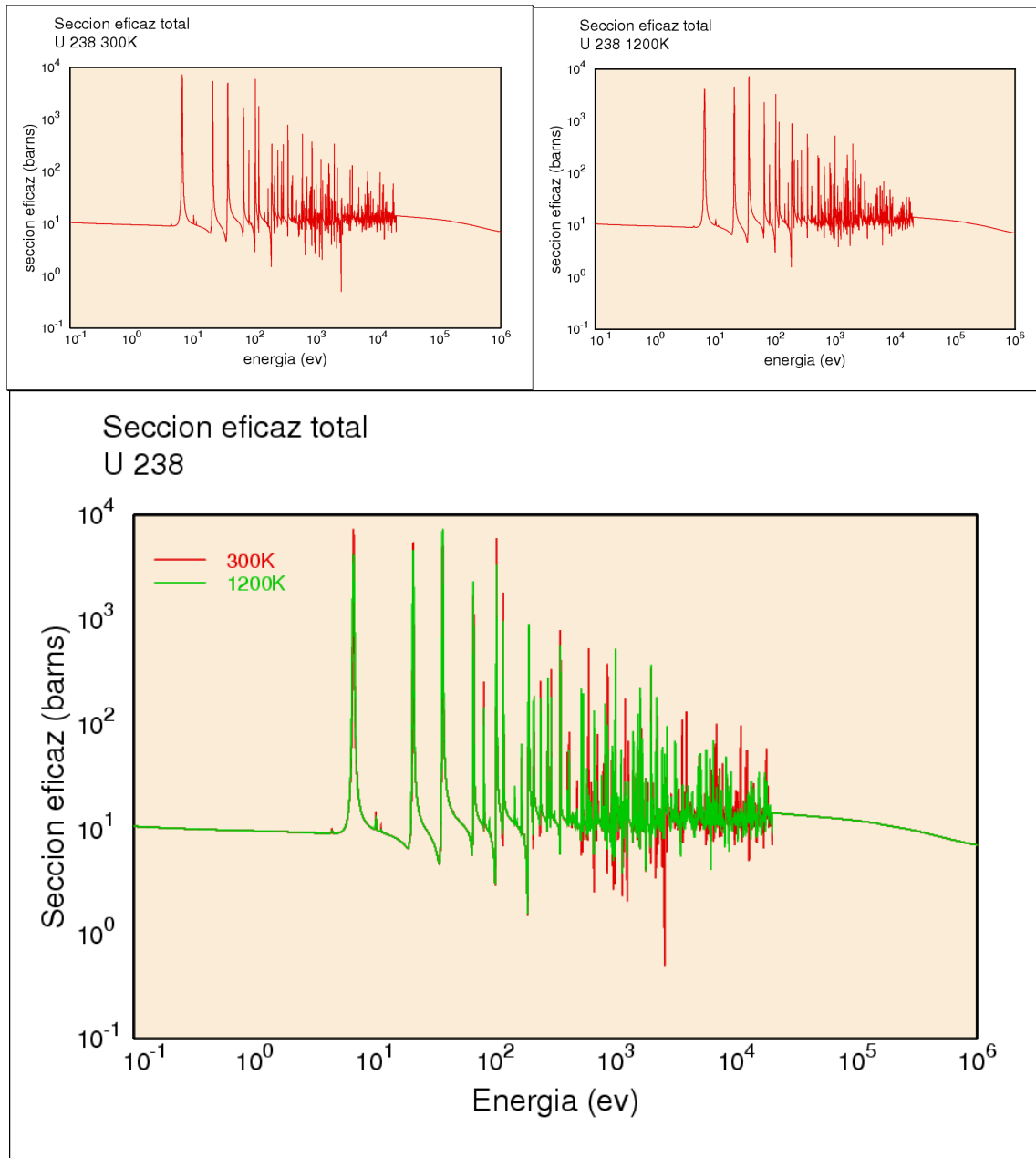


Figura 29. Sección eficaz total del ^{238}U . [8]

Sección eficaz de captura para el Uranio 238

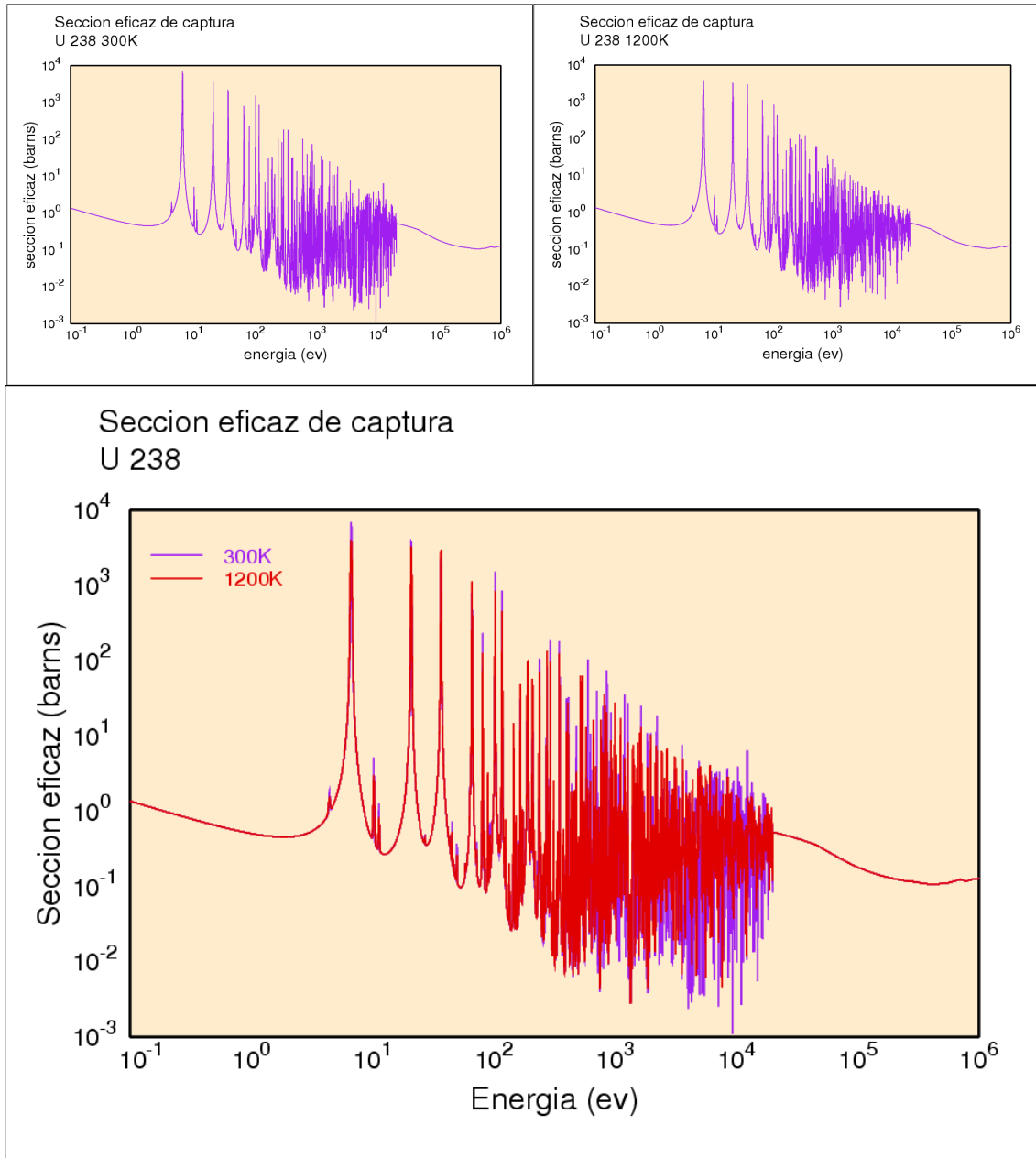


Figura 30. Sección eficaz de captura del ^{238}U . [8]

Sección eficaz de dispersión elástica para el Uranio 238

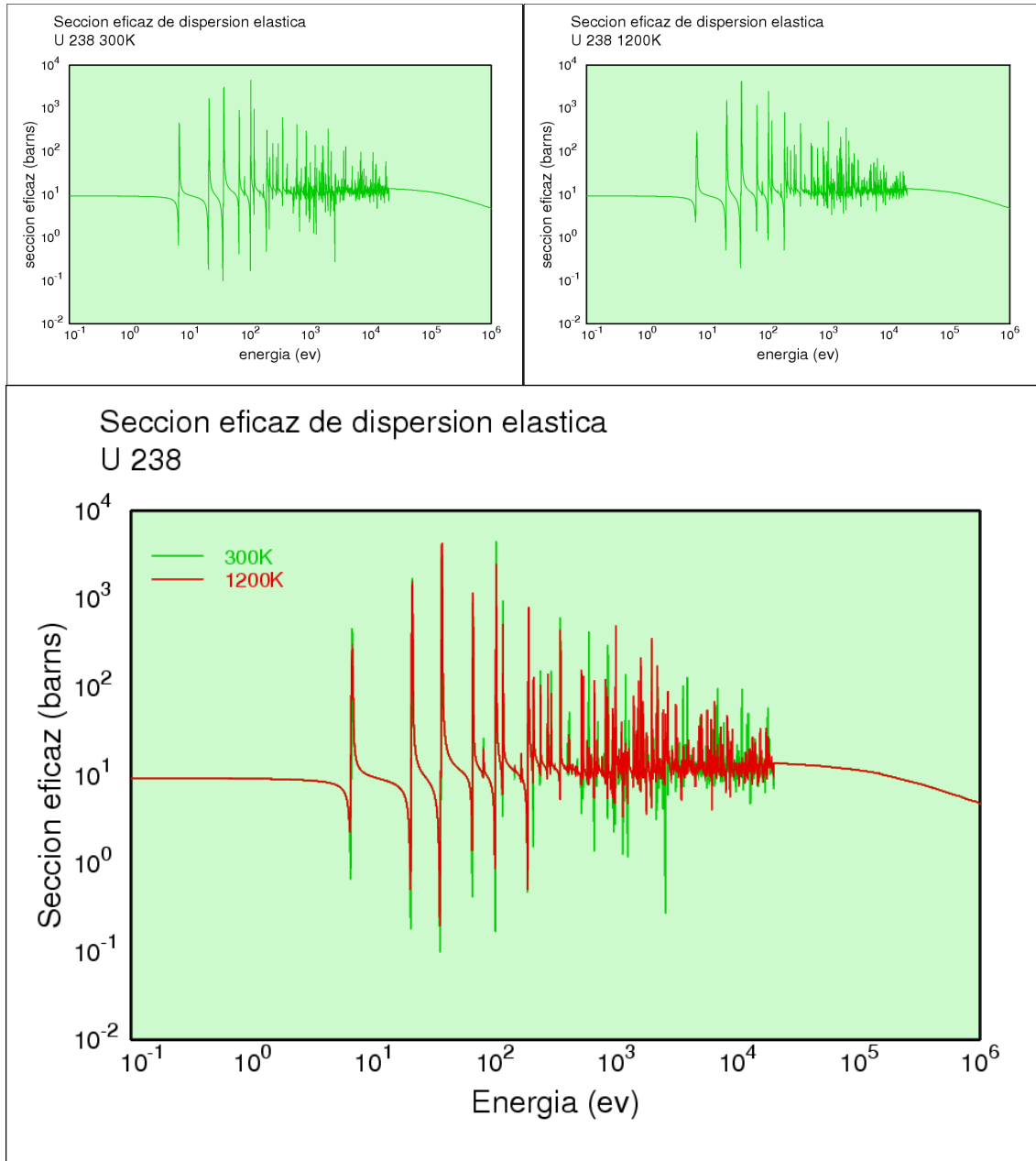


Figura 31. Sección eficaz de dispersión elástica del ²³⁸U. [8]

Sección eficaz de fisión para el Uranio 238

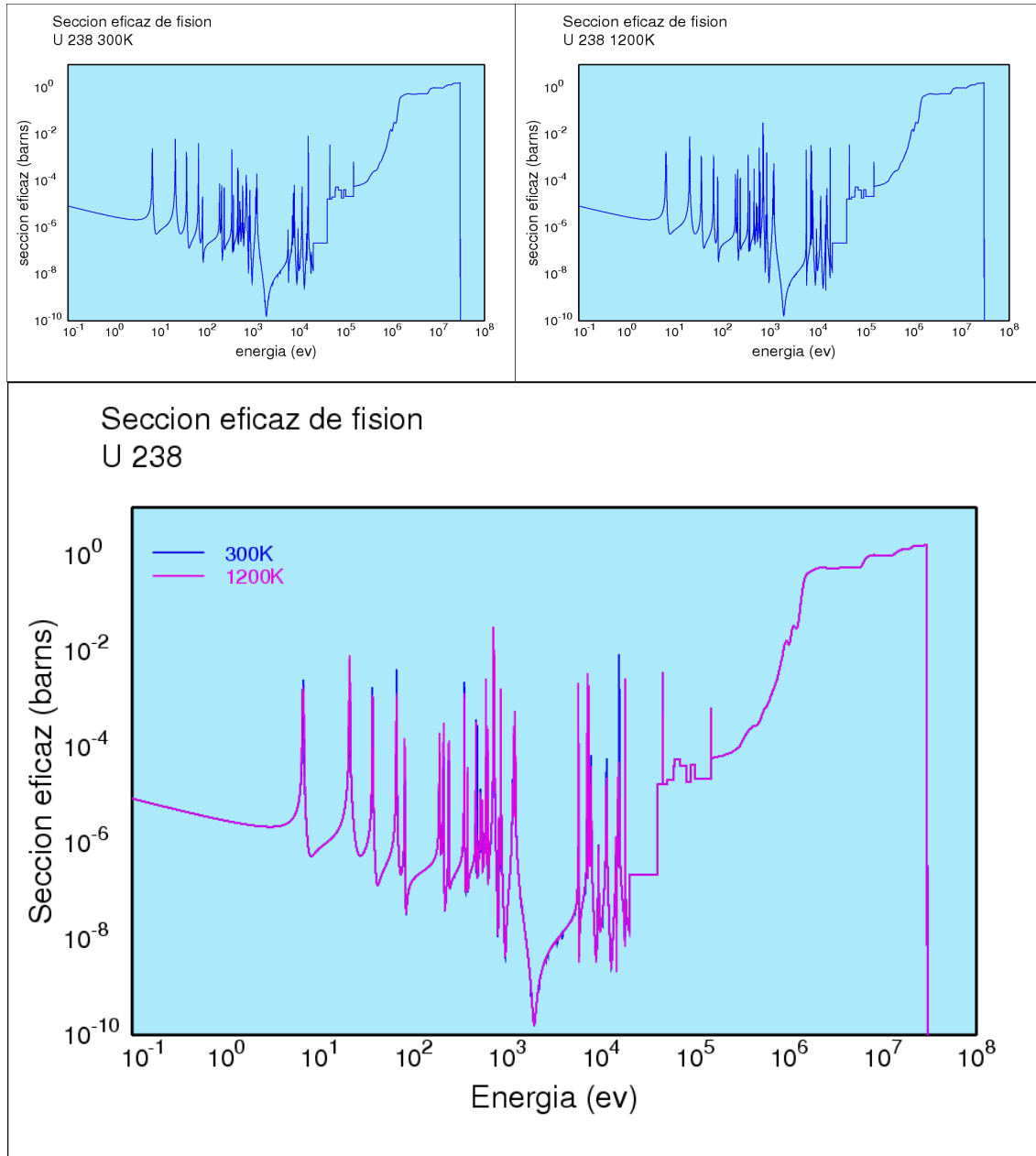


Figura 32. Sección eficaz de fisión del ^{238}U . [8]

A continuación se hace la comparación de las secciones eficaces de fisión de dos isótopos del uranio a la misma temperatura. Se observa claramente que el ^{238}U tiene una probabilidad de fisionarse despreciable en comparación con el ^{235}U . Sin embargo, para neutrones altamente energéticos (10^6 eV) la probabilidad de fisión rápida del ^{238}U ya es apreciable.

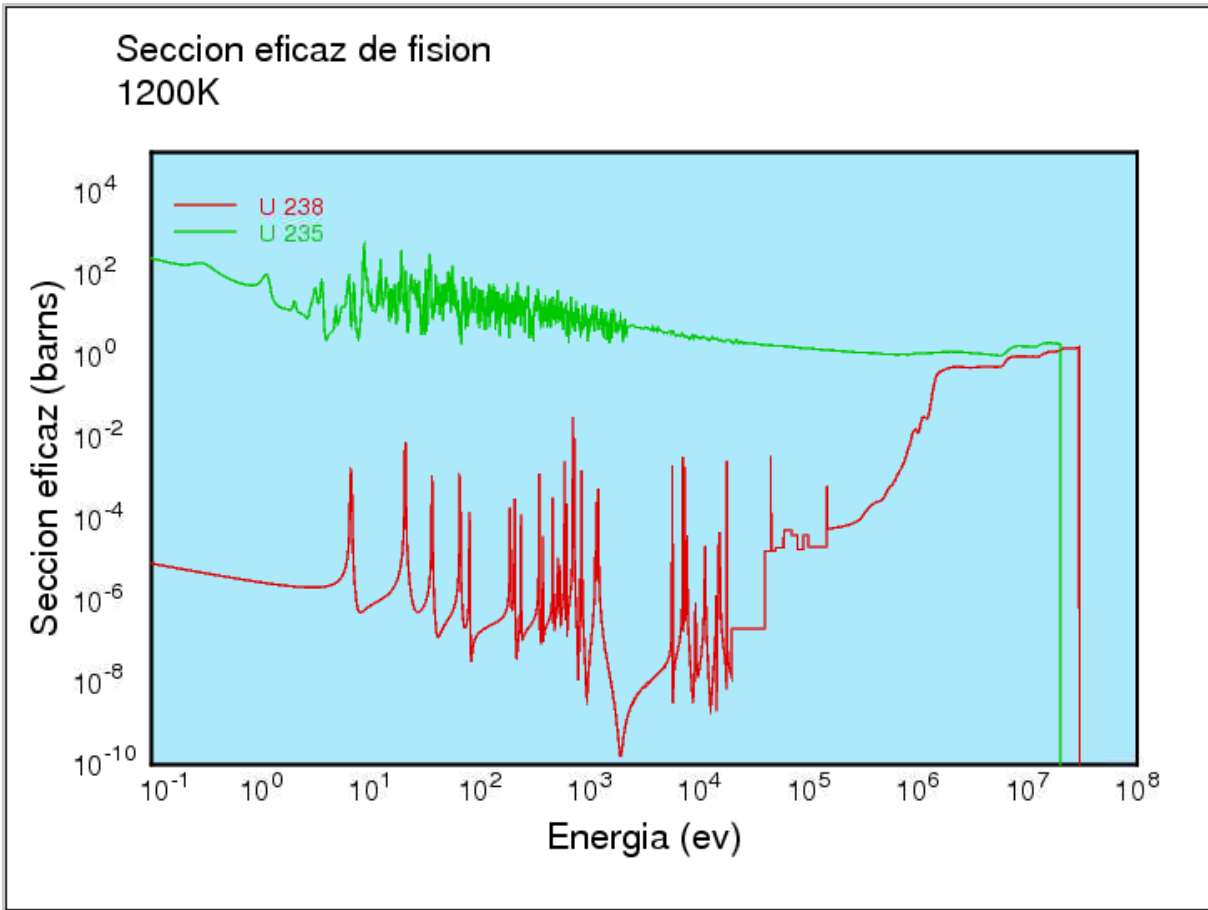


Figura 33. Secciones eficaces de fisión del ^{235}U y ^{238}U a 1200K. [8]

Por último se muestra la comparación de las secciones eficaces de dispersión elástica de dos isótopos diferentes a la misma temperatura, y podemos observar que el hidrógeno no tiene resonancia.

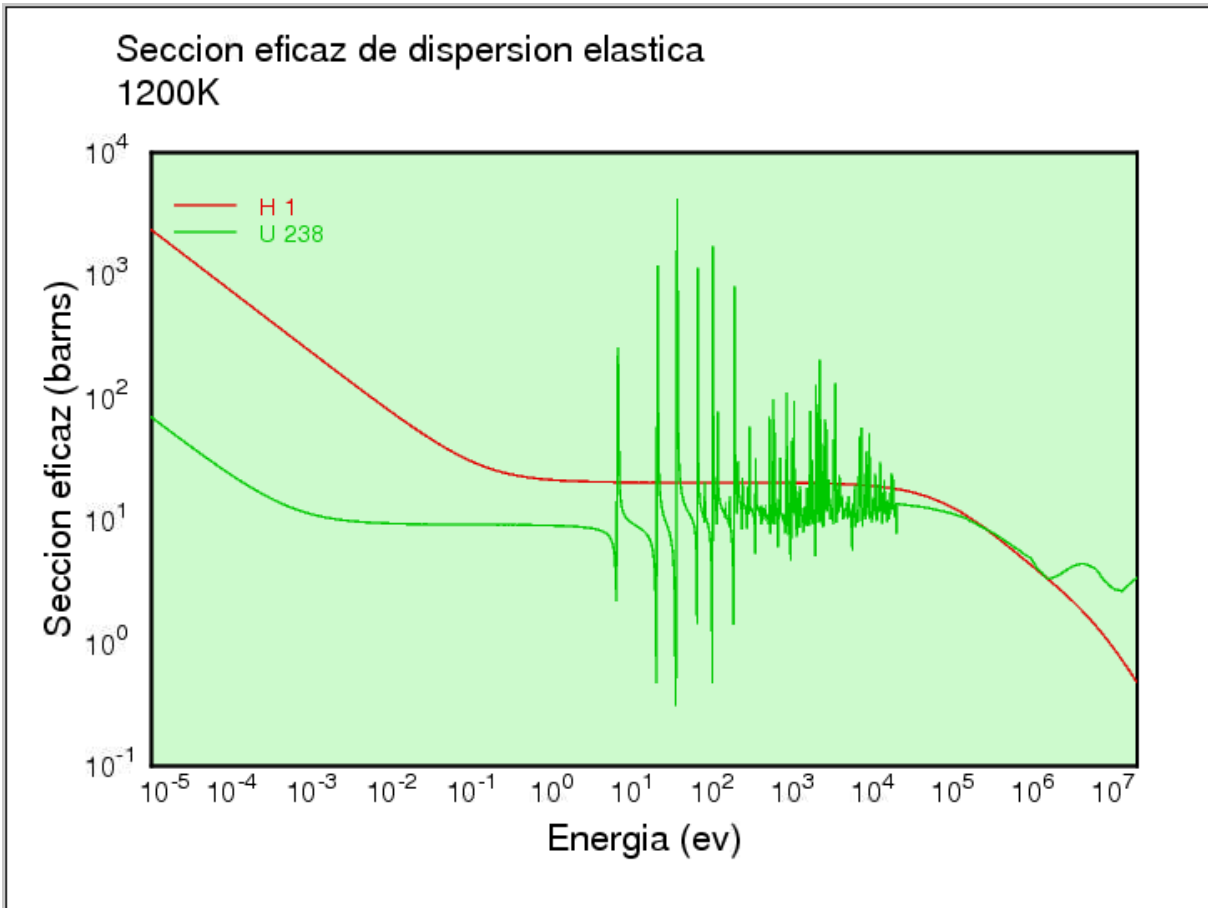


Figura 34. Secciones eficaces de dispersión elástica del ^1H y del ^{238}U . [8]

b. Aplicación de bibliotecas nucleares

Como ya se mencionó, en el Laboratorio de Análisis de Ingeniería de Reactores Nucleares de la Facultad de Ingeniería se realiza actualmente investigación sobre el modelado de nuevos conceptos de combustible de reactores avanzados que requieren bibliotecas de datos nucleares para diferentes temperaturas incluyendo altas temperaturas como por ejemplo 1500K.

De la comparación de secciones eficaces a 300K y 1200K presentada anteriormente no es fácil cuantificar el impacto de la temperatura en el factor de multiplicación neutrónica.

Con el objeto de ilustrar esto, en la Tabla 4 se muestran los resultados del factor infinito de multiplicación de neutrones (K_{inf}) para diferentes temperaturas de combustible para un modelo de combustible que se está estudiando para el reactor rápido enfriado por gas (GFR). Se observa que el factor disminuye de manera significativa al aumentar la temperatura del combustible como se muestra en la Figura 35.

Los valores de K_{inf} provienen de una tesis de doctorado que actualmente se está desarrollando en la Facultad de Ingeniería en la cual se utilizan las bibliotecas creadas por NJOY a diferentes temperaturas para analizar modelos de combustible para el reactor GFR.¹⁵

Tabla 4. Factor infinito de multiplicación de neutrones en función de la temperatura del combustible. [10]

Temperatura (°K)	K_{inf}
294	1.34439 ± 0.00058
400	1.33963 ± 0.00056
500	1.33518 ± 0.00053
600	1.33103 ± 0.00056
800	1.32458 ± 0.00058
900	1.32266 ± 0.00056
1200	1.31439 ± 0.00052

¹⁵ Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería que presenta el alumno Ricardo Reyes Ramírez. "Desarrollo de modelos para el diseño de combustible de un reactor rápido enfriado por gas." Facultad de Ingeniería, División de estudios de posgrado, UNAM. México, D.F., 2010.

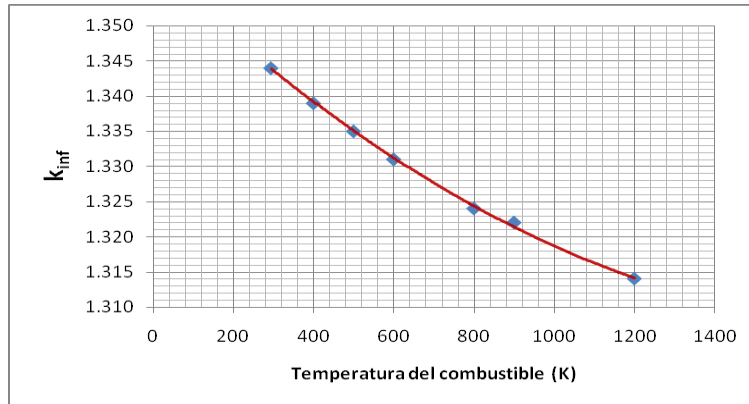


Figura 35. Factor de multiplicación infinita [1]

Con este análisis sumamente sencillo se justifica la necesidad de tener bibliotecas de datos nucleares para diferentes temperaturas para un número significativo de isótopos que están presentes en los núcleos de los reactores o que pueden formarse durante la operación del reactor.