

MÉTODO DE MONTE CARLO Y SUS APLICACIONES EN REACTORES NUCLEARES Y FÍSICA MÉDICA

ININ

Arturo Delfín Loya

[http:](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

[//www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

Octubre, 2018



instituto nacional de
investigaciones nucleares



- ▶ **Código de transporte de radiación de Monte Carlo.**

- ▶ Extiende MCNP4C a prácticamente todas las partículas y energías
- ▶ 34 partículas (n,p,e, ...) + 2205 iones pesados
- ▶ Energía continua (aproximadamente 0-1 TeV/n)
- ▶ Librerías de datos por debajo de 150 MeV (n, p, e, h) y otros modelos

- ▶ **Geometría General en 3D**

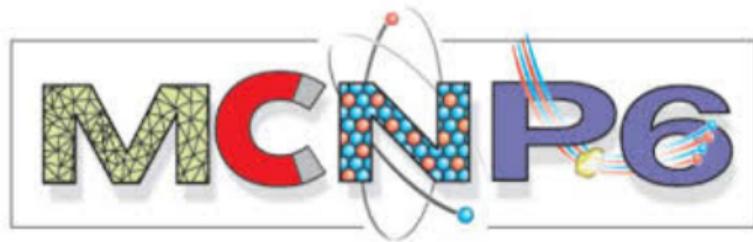
- ▶ Superficies de 1^º y 2^º grado, toroides, 10 macrocuerpos (macrobodyes), mallas

- ▶ **Fuentes en general y tallies**

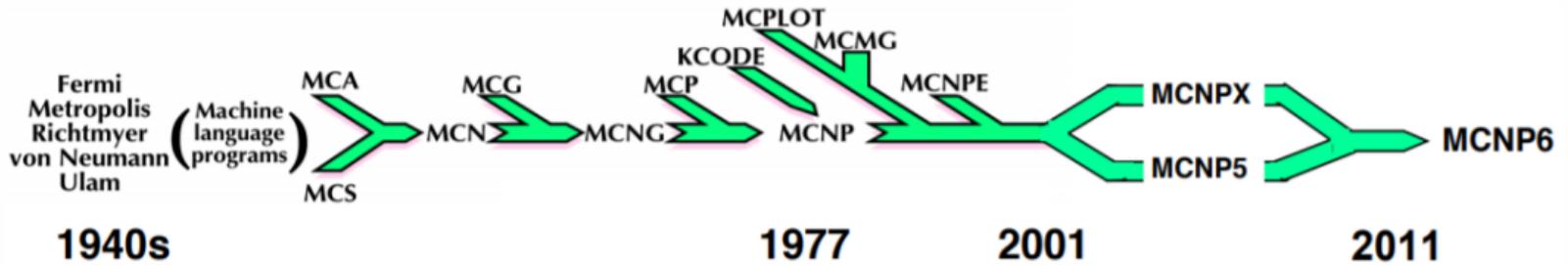
- ▶ Variables de origen interdependientes, 7 tipos de tallies, además de modificadores

- ▶ **Compatible con prácticamente todas las plataformas informáticas**

- ▶ Unix, Linux, Windows, OS X (paralelo a MPI)



Historia de MCNP



Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon

- ▶ Nació el 7 de septiembre de 1707
Montbard, Côte-d'Or
- ▶ Fallecido el 16 de abril de 1788 (80 años)
Paris, Francia.
- ▶ Nacionalidad: francesa
- ▶ Instituciones: Jardin du Roi
- ▶ Influenciado: Jean-Baptiste Lamarck
- ▶ **G. Comte de Buffon**, "Essai d'arithmetique morale," Supplement a la Naturelle, Vol. 4, 1777: Jean-Baptiste Lamarck



Pierre-Simon Laplace

- ▶ Nació el 23 de marzo de 1749
Beaumont-en-Auge, Normandia, Francia
- ▶ Fallecido el 5 de marzo de 1827 (77 años).
Paris, Francia.
- ▶ Nacionalidad: francesa
- ▶ Campos: astrónomo y matemático
- ▶ Instituciones: École Militaire (1769-1776)
- ▶ Alma mater: University of Caen
- ▶ **Marquis Pierre-Simon de Laplace**, *Theorie Analytique des Probabilities*, Livre 2, pp. 356-366 contained in *Ouvres Completes de Laplace*, de L'Academie des Sciences, Paris, Vol. 7 part2 1786



William Thomson, 1st Baron Kelvin de Largs

- ▶ Nacido el 26 de junio de 1824 en Belfast
- ▶ Fallecido el 17 de diciembre de 1907 (83 años de edad)
- ▶ Residencia: Cambridge, Glasgow, Belfast
- ▶ Ciudadanía: Reino Unido
- ▶ Instituciones: University of Glasgow
- ▶ **Lord Kelvin**, "Nineteenth Century Clouds Over the Dynamical Theory of Heat and Light," *Philosophical Magazine*, series 6, 2, 1 (1901)



La primera detonación de ingeniería humana, el Trinity Test en Nuevo México

- ▶ Creado: 1942-1945
- ▶ Aliados: Estados Unidos, Reino Unido y Canadá
- ▶ Rama: Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

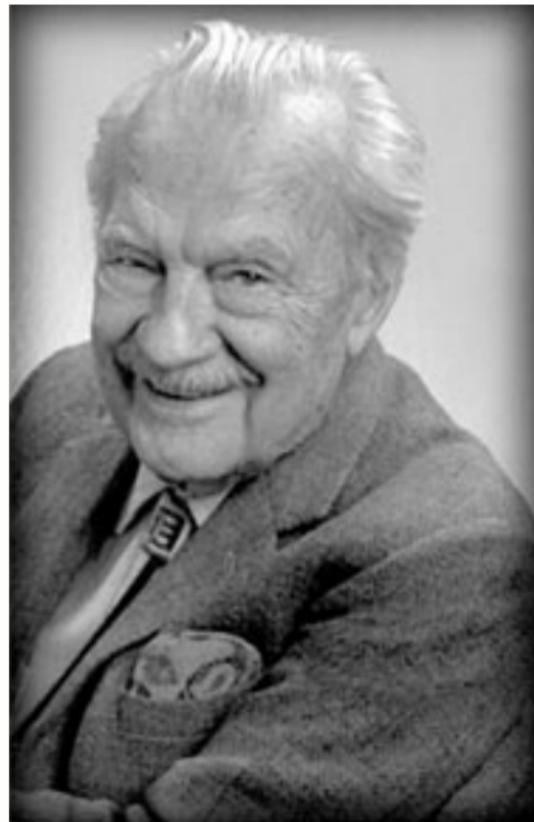
Pioneros de Monte Carlo:

- ▶ Enrico Fermi
- ▶ Stanislaw Ulam
- ▶ John von Neumann
- ▶ Robert Richtmeyer
- ▶ Nicholas Metropolis



El método de Monte Carlo

- ▶ Nicholas Metropolis; S. Ulam
- ▶ *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 44, No. 247. (Sep., 1949), pp. 335-341



El desarrollo informático dictó el desarrollo de Monte Carlo

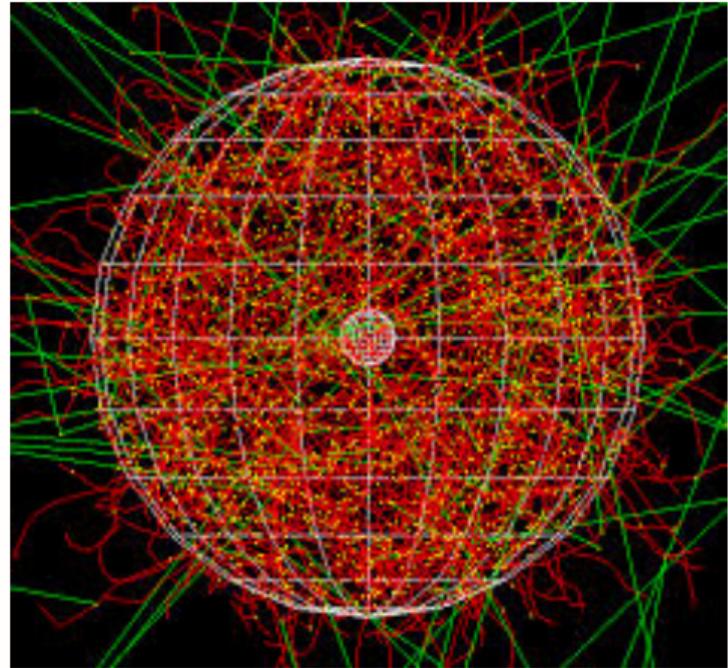
- ▶ Computadoras incompatibles, idiomas y software requerían códigos diferentes en cada instalación

El desarrollo de Monte Carlo impulsó el desarrollo informático

- ▶ CRAY, CDC, IBM desarrollaron mejores computadoras para programas nucleares

Los principales códigos de Monte Carlo surgieron de los laboratorios nucleares

- ▶ USA, Reino Unido y Francia

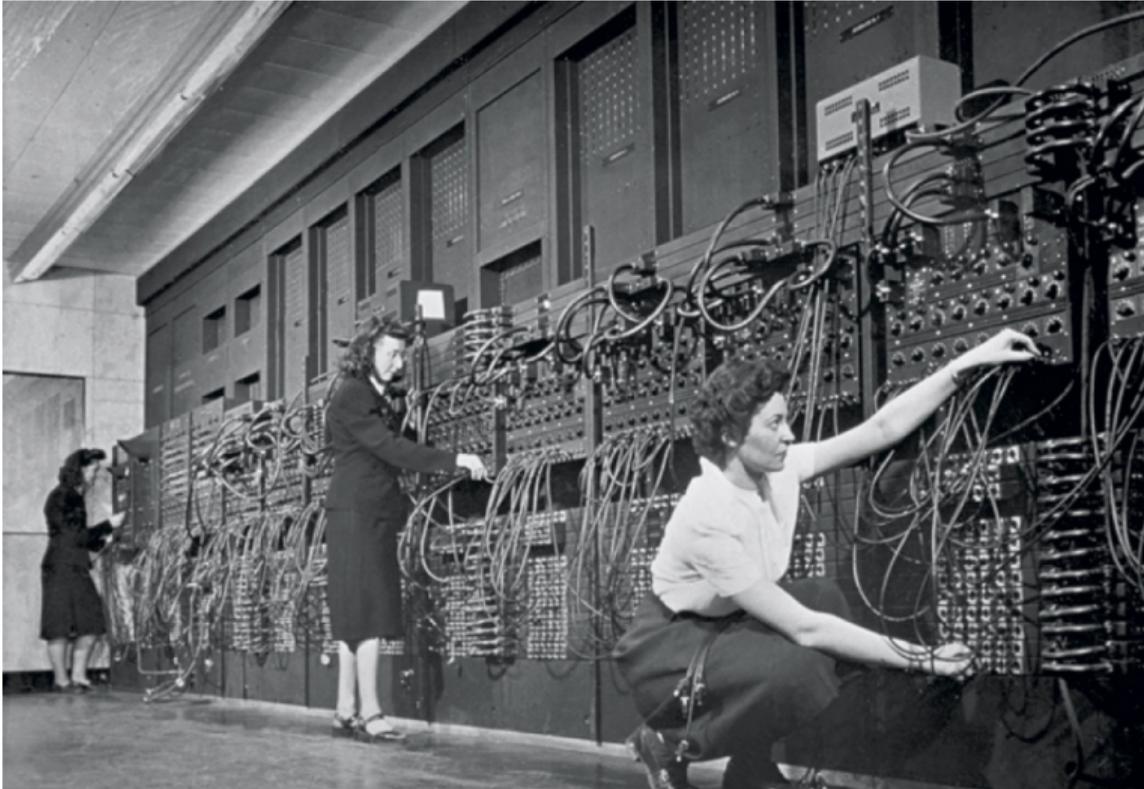


ENIAC (1946)

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

10/31

80 pies de largo, pesaba 30 toneladas y tenía más de 17000 tubos



Metropolis construyó el analizador matemático, el integrador numérico y la computadora (LANL)



IBM System/360 Computer (abril de 1964)

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

12/31

Esta fue la empresa más costosa y arriesgada de IBM desde su inicio



Seymour Cray inició Control Data Corporation. Nadie hizo tiempo compartido tan bien como CDC en la década de 1970



80 MHz Cray-1 (1975)

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

14/31

US \$8,86 million



Apple II (Apple Computer, 1977)

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

15/31

**Unidades estimadas vendidas: 5 millones a 6 millones (todas las versiones);
precio original: \$1298,00 USD**



IBM PC (IBM, 1981)

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

16/31

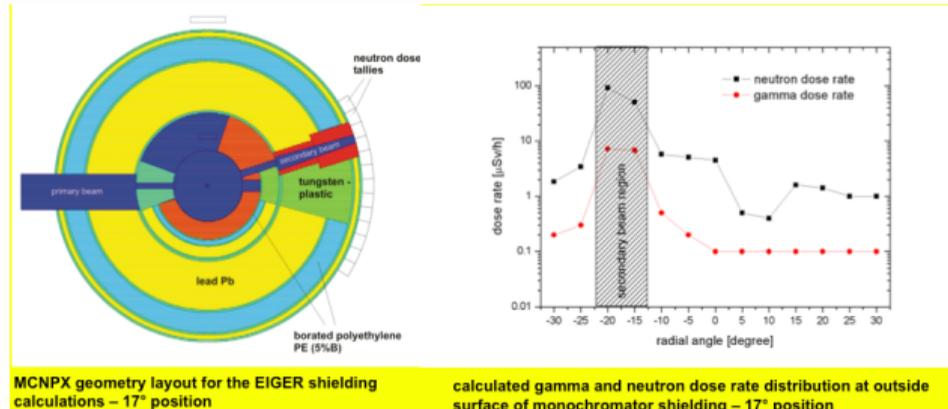
Unidades estimadas vendidas: cientos de miles; precio original: \$1565,00 USD



Hoy, una computadora portátil puede almacenar un millón de veces más información que ENIAC y es 50,000 veces más rápida



- ▶ Las computadoras son un millón de veces más rápidas y tienen mucha más memoria.
- ▶ El método de Monte Carlo es un millón de veces más rápido.
- ▶ Monte Carlo se utiliza en muchos campos
- ▶ Monte Carlo se utiliza en muchas aplicaciones de radiación
- ▶ Los códigos y datos de Monte Carlo son ahora el depósito del conocimiento de la física.



MCNPX geometry layout for the EIGER shielding calculations – 17° position

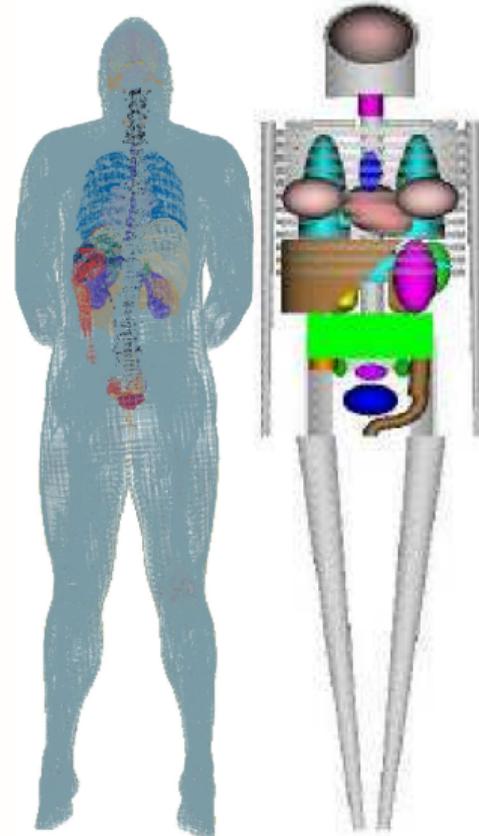
calculated gamma and neutron dose rate distribution at outside surface of monochromator shielding – 17° position

Solución estadística de ecuaciones integrales

- ▶ Problemas fáciles de desarrollar hasta complicados, muchos problemas dimensionales

Aplicaciones

- ▶ Termodinámica - gases
- ▶ Física del estado sólido
- ▶ Tráfico
- ▶ Análisis del árbol de fallas
- ▶ Teoría del juego
- ▶ Bancario
- ▶ Biología



Energía nuclear

- ▶ Diseño
- ▶ Blindaje
- ▶ Salvaguardias
- ▶ Residuos y transporte

Aplicaciones médicas

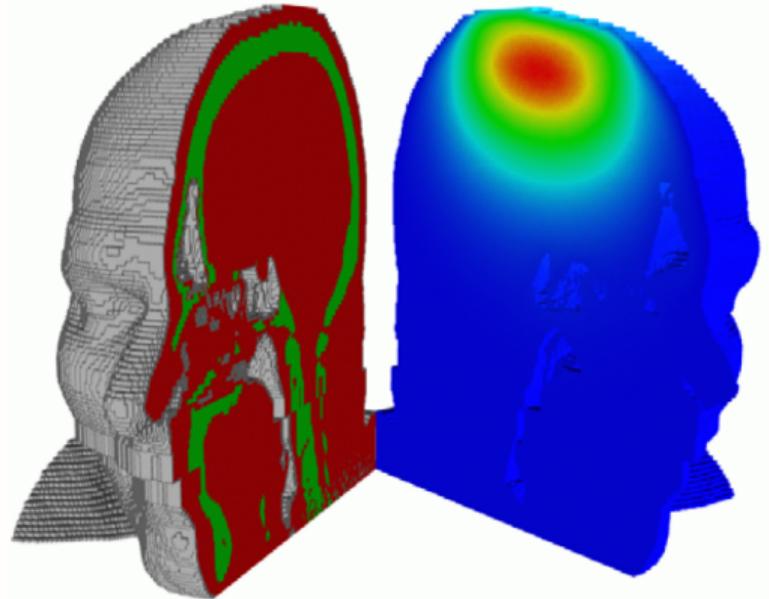
- ▶ Terapia de radiación
- ▶ Diagnóstico

Explotación de pozos de petroleros

Exploración espacial

Seguridad nacional

Física nuclear



Materials (left) and dose (right) from MCNP5 calculation

Existen en el mundo

- ▶ GEANT (CERN)
- ▶ MCNP (LANL-USA)
- ▶ SCALE/Morse/KENO (ORNL-USA)
- ▶ TRIPOLI (Francia)
- ▶ Answers/Monk/McBend (UK)
- ▶ PHITS (Japón)
- ▶ MCU (Rusia)
- ▶ SHIELD (Rusia)
- ▶ McCad (Alemania)
- ▶ SuperMC (China)

Electrones

- ▶ ITS (NBS/NIST/SNLA-USA)
- ▶ EGS (SLAC/U Michigan-USA/NRC-Canada)
- ▶ PENELOPE (España)

Física de alta energía

- ▶ Fluka (Italia)
- ▶ CEM (Rusia/Moldava/USA)
- ▶ INCL (Francia/Bélgica/Alemania)
- ▶ ISABEL (Israel)
- ▶ MARS (ANL-USA)

Data

- ▶ NJOY (USA)
- ▶ AMPEX (USA)
- ▶ MCNP6.1 Liberado con ENDF/B-VII.1 (librería)

Seguridad en criticidad

- ▶ Evaluar la seguridad crítica de las instalaciones autorizadas que manejan materiales fisionables.

Blindaje contra la radiación

- ▶ Comparar otros códigos y métodos informáticos de blindaje y cálculo de dosis utilizados por el personal de NRC
- ▶ Verificación de licencias de blindajes y cálculos de dosimetría

Dosimetría de radiación

- ▶ Evaluar las exposiciones a la radiación de los trabajadores y públicas planificadas y no planificadas

Médicas

- ▶ Comprender las implicaciones de seguridad radiológica del uso de la radiación en el diagnóstico y tratamiento médico

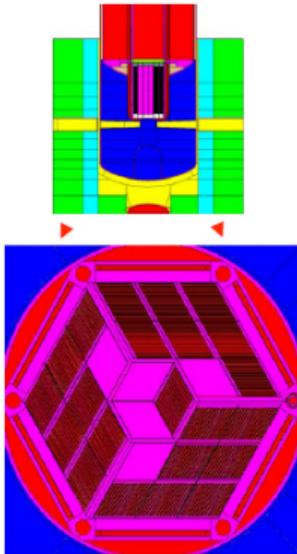


MCNP = Benchmarks para los Códigos de Diseño de Reactores Nucleares

Monte Carlo y sus Aplicaciones C0

24/31

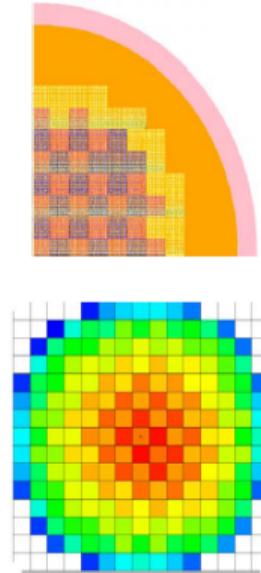
MIT
Research Reactor



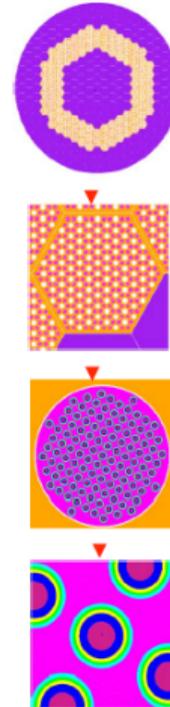
ATR
Advanced Test Reactor



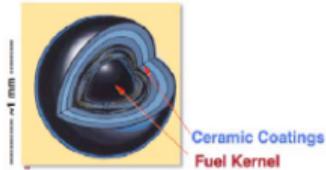
PWR
Pressurized Water
Reactor



VHTR
Very High Temperature
Gas-Cooled Reactor



- Accurate & explicit modeling at multiple levels
- Accurate continuous-energy physics & data



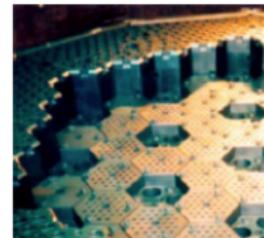
TRISO FUEL PARTICLES



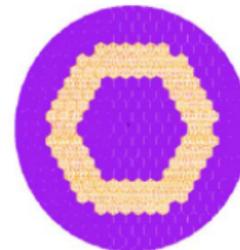
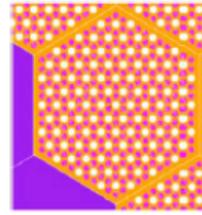
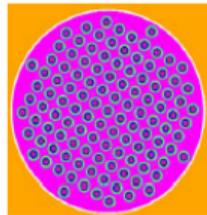
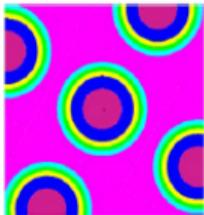
FUEL COMPACTS



FUEL BLOCK



CORE

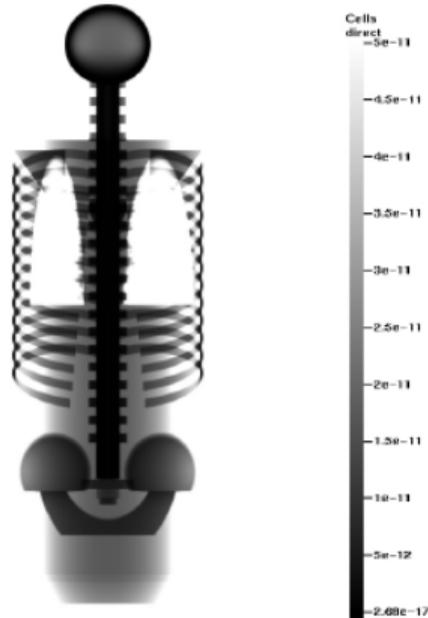


La radiografía de neutrones y fotones utiliza una cuadrícula de detectores de puntos (píxeles). Cada fuente y evento de colisión contribuye a todos los píxeles

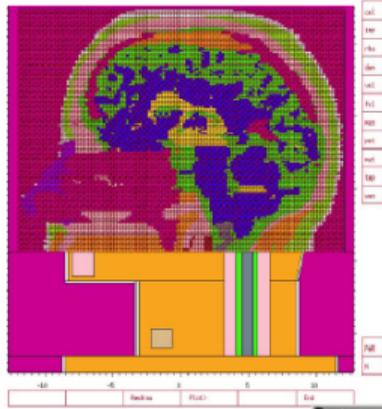
**MCNP Model of
Human Torso**



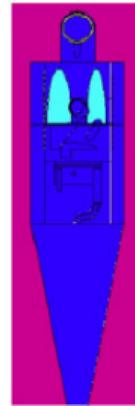
Simulated Radiograph - 1 M pixels



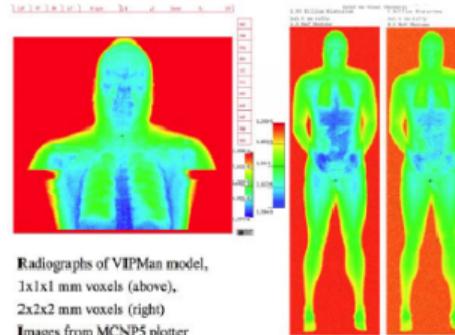
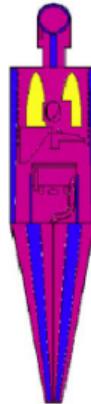
Zubal phantom



Yanch, MIT

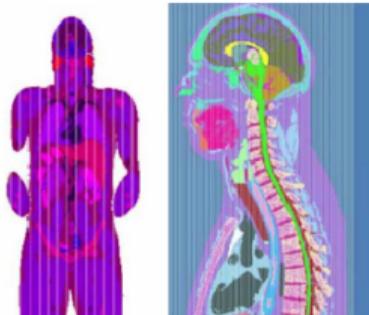


ORNL

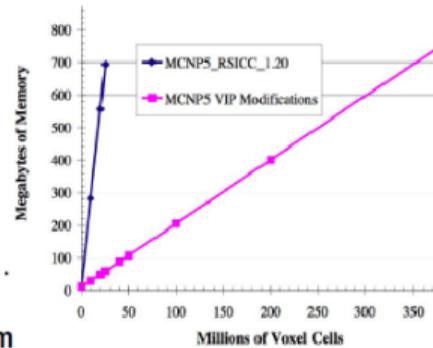
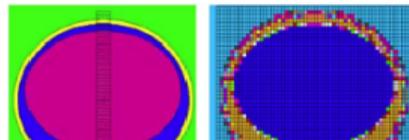


Radiographs of VIPMan model,
1x1x1 mm voxels (above),
2x2x2 mm voxels (right)
Images from MCNP5 plotter

VIP Man



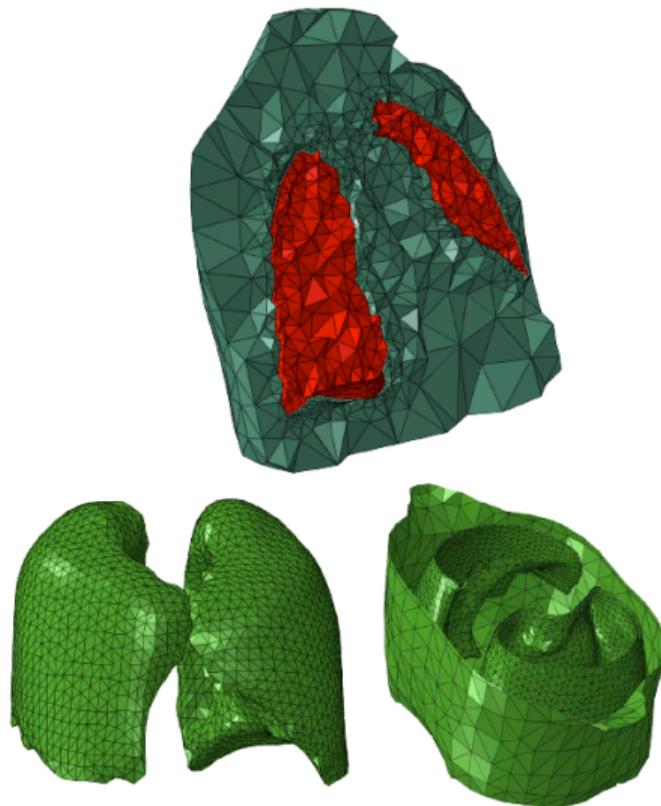
Snyder head phantom



MCNP6

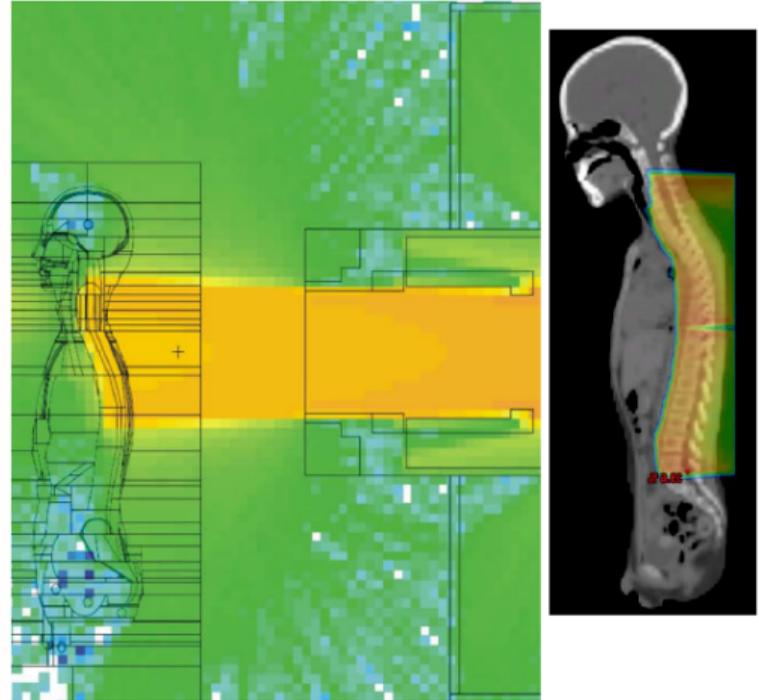
- ▶ Malla 3D no estructurada
- ▶ Embebido en geometría 3D MCNP
- ▶ Muchas aplicaciones
 - ▶ Planificación del tratamiento con radiación
 - ▶ Enlace a Abaqus

En desarrollo



MCNP6

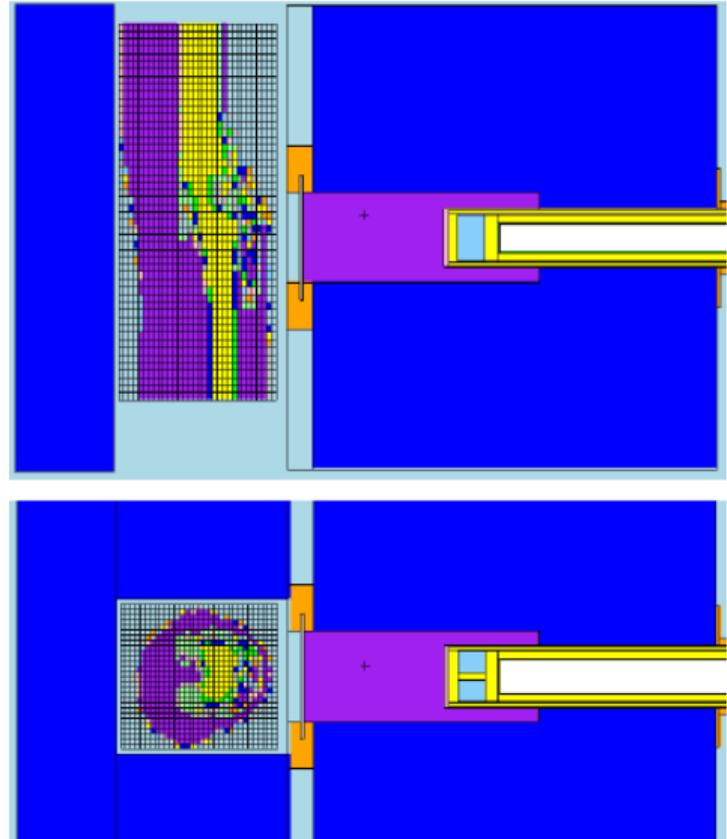
- ▶ El código es ideal para su uso en aplicaciones médicas debido a la precisión de sus modelos físicos, el conjunto único de características clínicamente relevantes y el soporte de respuesta proporcionado por los desarrolladores y la comunidad de usuarios.



proton fluence and dose contours (arb units)

MCNP6

- ▶ Paciente basado en TC modelo de rodilla y final de acelerador
- ▶ Calculo de la dosis a lo largo de la rodilla
- ▶ Estudio del impacto de la moderación o atenuación / protección de materiales y concentración de B-10 en la rodilla



GRACIAS

Historia 1



Historia 2

