

ARTÍCULO

VIDEOJUEGOS EN LA ASTROFÍSICA COMPUTACIONAL DEL SIGLO XXI

Dr. Alfredo J. Santillán González
Investigador Titular "B" DGTIC, UNAM
alfredo@astro.unam.mx

Videojuegos en la Astrofísica Computacional del Siglo XXI

Resumen

En este artículo se presentan las aportaciones de los videojuegos, a través de las Unidades de Procesamiento de Gráficos conocidas como GPUs, en el desarrollo de la ciencia en general y en la Astrofísica en particular. La necesidad de llevar el cómputo de alto rendimiento al estudio de la evolución de diferentes fenómenos que ocurren en el Universo ha llevado a los astrofísicos de todo el mundo a migrar sus códigos numéricos al mundo de las GPUs, para que sus cálculos se vuelvan más eficientes y así aprovechar la tecnología del siglo XXI de la mejor manera posible.

Palabras clave: GPU, Astrofísica, Cómputo de Alto Rendimiento, Simulaciones Numéricas,

Video games in the Computational Astrophysics of the 21st Century

Abstract

In this paper we present the contributions of video games through Graphics Processing Units (GPUs) in the development of science in general and astrophysics in particular. The need of the high performance computing to study the evolution of different phenomena occurring in the Universe has led the astrophysicists worldwide to migrate their numerical code to the world of GPUs, so your calculations become more efficient and thus take advantage of the XXI century technology in the best way possible.

Keywords: GPU, Astrophysics, High Performance Computing, Numerical Simulation

Introducción

Posiblemente uno de los grandes sueños de un adolescente del siglo XXI, y de muchos adultos también, es tener en sus manos una consola de videojuegos del tipo Xbox 360, Wii, PlayStation 3, Nintendo DS, PSP, PlayStation 2, etcétera, e invertir gran parte de su tiempo en tratar de descifrar los retos que le plantean los diferentes juegos. Para esa generación ya no es sorprendente que los despliegues sean en tres dimensiones (3D) y es probable que muchos creen que así ha sido siempre. Sin tener la intención de desilusionar a nadie, esto no ha sido así. Todo dispositivo electrónico tiene su propia historia y evolución y, por supuesto, estas consolas no son la excepción. De acuerdo a WIKIPEDIA, “una videoconsola es un pequeño sistema electrónico que está diseñado para ejecutar juegos desarrollados en un computador personal o servidor”. Para desarrollar sus funciones básicas las videoconsolas cuentan con unidades de procesamiento central (CPU, por sus siglas en inglés), y las más modernas, con unidades de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés), encargadas del manejo exclusivo de gráficos, aligerando la carga de trabajo del

CPU. Las GPUs que conocemos actualmente provienen de los chips gráficos que se utilizaban a finales de los setenta y principios de los ochenta del siglo pasado. A medida que pasó el tiempo estos chips evolucionaron a lo que se conoce como tarjeta VGA (Video Graphics Array; IBM, 1987). Cuando aparece Microsoft Windows, a principios de los 90, enfocan gran parte de sus baterías a los gráficos bidimensionales (2D), dando origen a un estándar para la representación de objetos gráficos, la interface GDI (Graphics Device Interface). Tiempo después aparecen las famosas APIs (Application Programming Interface), que no son otra cosa que una interfaz de comunicación entre diferentes componentes del software. A finales del siglo XX, y principios del siglo XXI, aparecen las primeras unidades de procesamiento gráfico (GPU, ver figura 1).

Es hasta el 2006 cuando la empresa NVIDIA (<http://www.nvidia.es>) presenta el lenguaje de programación CUDA (acrónimo del inglés Compute Unified Device Architecture) y las GPUs toman un rumbo diferente al de los gráficos, comenzando a utilizarse como procesadores de cálculo y a ser consideradas una herramienta esencial para el cálculo científico de alto rendimiento, dando origen a un nuevo término para describirlas, las GPGPU (General-Purpose Computing on GPU). Por su naturaleza, a diferencia de las CPUs, las GPUs modernas presentan un alto grado de paralelismo inherente, lo que les permite hacer una cantidad considerable de operaciones al mismo tiempo (para más detalles se recomienda leer los siguientes artículos: Beltrán, 2008; Masood, 2009; Charte-Ojeda 2010; Santamaría 2011).

En la figura 2 mostramos un ejemplo de cómo han evolucionado tanto las CPUs como las GPUs en el tiempo, y los respectivos rendimientos óptimos que pueden dar dichas unidades de procesamiento. Allí se puede ver que las GPUs han tenido un desarrollo espectacular, comparado con las CPUs.

En la animación 1 se muestran los beneficios de esta tecnología aplicada a la dinámica molecular. Claramente el lector se dará cuenta del poder de cálculo de las GPUs (derecha) con respecto a las CPUs (izquierda). La animación del lado izquierdo presenta un movimiento pausado al girar, en tanto que la del lado derecho es todo lo contrario. Es un movimiento completamente continuo, debido a la eficiencia con que el GPU hace las operaciones en paralelo, para rotar la matriz tridimensional que representa a la proteína. Todo este desarrollo tecnológico ha traído grandes beneficios a diferentes áreas de la ciencia y, sin duda, a la astrofísica. En las siguientes secciones daremos una serie de ejemplos en los que se ha aplicado dicha tecnología.

Astrofísica Computacional en la era de los GPUs

Como sabemos, los tiempos de evolución de diferentes fenómenos astronómicos son de decenas o cientos de miles o millones de años. Por ejemplo, los astrónomos calculan que la vida de nuestro Sol será de unos 10 mil millones de años. Estas escalas de tiempo son tan grandes que hacen imposible al ser humano dar un seguimiento puntual de su desarrollo. Esto trae como consecuencia que los astrofísicos generen modelos teóricos para estudiar el origen y la evolución de dichos fenómenos. Comúnmente estos modelos contienen un sistema de ecuaciones bastante complejo, que difícilmente tienen soluciones analíticas, por lo que se tiene que recurrir a soluciones

aproximadas o numéricas (Santillán et al. 2004). Entre más procesos físicos involucremos en nuestras simulaciones, requeriremos de más recursos computacionales y, por lo tanto, el grado de detalle del fenómeno que estamos estudiando dependerá significativamente de qué tan potentes son las computadoras que estamos utilizando (Santillán & Hernández-Cervantes 2010). La evolución del hardware ha sido impresionante. Para muestra un botón: echemos un vistazo a los equipos de cómputo de alto rendimiento del siglo XXI que se encuentran en los primeros lugares de la lista o Top 500 Supercomputers Site (<http://www.top500.org/>) y nos daremos cuenta que el poder de cómputo no sólo se centraliza en las CPUs, sino que ahora son híbridos de CPUs con GPUs(ver figura 3).

En las siguientes secciones daremos ejemplos de la migración de códigos numéricos astrofísicos, que hasta principios del siglo XXI se ejecutaban en paralelo en CPUs y ahora lo hacen en GPUs.

Cuando los objetos astronómicos son considerados como puntos con masa: Simulaciones de N-cuerpos

Sin duda, las simulaciones numéricas de N-cuerpos son una poderosa herramienta para estudiar la dinámica de sistemas auto-gravitantes compuestos de muchos cuerpos, tales como sistemas planetarios (animación 2), cúmulos de estrellas (figura 4), galaxias-(figura 5), cúmulos de galaxias (figura 6) y, por supuesto, la estructura a gran escala del universo (animación 3).

En general, el problema de N cuerpos consiste en encontrar las trayectorias de una cierta cantidad de cuerpos que componen un sistema, y que están sujetos a las fuerzas que ejercen entre sí, que para el caso de objetos astronómicos esta fuerza es la fuerza de gravedad (si el lector está interesado en conocer más sobre el problema de N-cuerpos se recomienda ampliamente ver Aguilar, 1992). Hasta la fecha, sabemos que el problema de tres o más cuerpos no puede ser resuelto analíticamente. Entonces hay que recurrir a las soluciones aproximadas que nos proporcionan los métodos numéricos y, por lo tanto, es necesario el uso de las computadoras. La pasión de los astrónomos por resolver eficiente y rápidamente la ecuación de movimiento de un conjunto de cuerpos que interactúan gravitacionalmente, ha llevado no sólo a la generación de códigos numéricos paralelos (Barnes-Hut algorithm, Fast Multipole Method, Parallel Multipole Tree algorithm; ver Parallel N-Body Simulations), sino también a la construcción de procesadores que se especializan en calcular únicamente la fuerza gravitacional entre partículas. Dichos procesadores son conocidos como GRAPEs (Ito *et al.*, 1991; Makino *et al.*, 2003). No obstante, la llegada de las GPUs motivaron a los astrofísicos a desarrollar códigos como el NBSymple (acrónimo del inglés NBody Symplectic integrator; Capuzzo-Dolcetta, *et al.* 2011), que tienen la característica computacional de estar paralelizado tanto para CPUs, a través de bibliotecas OpenMP (<http://openmp.org/wp/about-openmp>), como GPUs utilizando CUDA.

En la animación 4 se ve claramente el efecto de utilizar las bondades de las GPUs (panel superior) con respecto a las CPUs (panel inferior), al estudiar la evolución de un conjunto de 3,840 masas

que componen un cúmulo globular que interacciona con un agujero negro que tiene una masa 10 veces más grande que la del cúmulo. El código NBSymple ha sido utilizado para estudiar diferentes problemas, tales como, la evolución de un cúmulo compuesto por 15,360 estrellas moviéndose cerca del plano de nuestra Galaxia a una distancia de 8 kpc y colisiones entre un cúmulo estelar (15,360 estrellas; ver animación 4) con un agujero negro masivo. Finalmente, realizaron una simulación de la evolución de un cúmulo con 1,536,000 estrellas.

La hidrodinámica de fluidos Astrofísicos

La solución de las ecuaciones de la dinámica de fluidos compresibles, es un problema clásico en el cómputo numérico y tiene aplicación en muchos campos de la ciencia, además de la astrofísica. Un gran número de métodos se han desarrollado, con muchas e importantes contribuciones de los astrofísicos. Entre estos métodos se encuentran el de Diferencias Finitas, el de Volumen Finito, el conocido como Operator split (que combina tanto técnicas de diferencias finitas como de volumen finito), el SPH (del inglés Smoothed-particle hydrodynamics), el TVD (del inglés Total Variation Diminishing), etcétera. Con estos métodos se han desarrollado diferentes códigos numéricos que han permitido a los astrofísicos estudiar una gama amplia de objetos astronómicos, tales como: chorros de gas, formación de nebulosas planetarias (ver animación 5) y remanentes de supernova (ver animación 6), regiones de formación estelar y en general fenómenos asociados al gas interestelar e intergaláctico.

Como ejemplo particular, nos enfocaremos a un código numérico que ha pasado por diferentes etapas computacionales vinculadas al rendimiento: secuencial, paralela y versión para GPUs. Dicho código es conocido como FARGO (acrónimo del inglés Fast Advection in Rotating Gaseous Objects). Este código resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, para un disco Kepleriano que está sujeto al campo gravitacional de un objeto central y al de los protoplanetas que se encuentran dentro de él.

En la animación 7 se muestra un ejemplo del tipo de problemas que se pueden resolver con dicho código: la evolución de un disco de acreción autogravitante. El tamaño del disco es de aproximadamente 100 unidades astronómicas (UA). Recordemos que 1 UA se define como la distancia promedio de la Tierra al Sol. En dicha animación se ve claramente cómo el disco que se forma alrededor de la estrella comienza a fragmentarse y a generar concentraciones de material muy densas (círculos blancos), que presentan tanto movimientos circulares como radiales, dirigiéndose hacia la estrella. El código numérico es completamente libre y puede obtenerse del portal <http://fargo.in2p3.fr/> en cualquiera de sus versiones. La más reciente y que está programada para GPUs se le conoce como GFARGO. Cabe señalar que dicho código ha sido desarrollado parcialmente por astrofísicos del Centro de Ciencias Físicas de la UNAM y se ha utilizado intensamente en el estudio de la migración de planetas.

Conclusiones

No cabe la menor duda que los avances tecnológicos que nos ha proporcionado la llamada industria del ocio, han traído enormes beneficios a diferentes ramas de la ciencia, a la ingeniería y, por supuesto, a la medicina. En el caso particular de la astrofísica, los grandes proyectos tanto observacionales como teóricos, cada día requieren de más recursos computacionales para manipular y analizar en tiempos razonables las enormes cantidades de datos (órdenes de Terabytes), que se están y se van a generar diariamente, así como el estudio detallado, a través de simulaciones numéricas, de la evolución de diferentes objetos que son parte de nuestro universo. Finalmente, como bien se menciona en el artículo “GPU’s de videojuegos para laboratorios de investigación” del portal MARKETING & IT “...si adoptamos una perspectiva adecuada/amplia comprendes que el avance es el avance venga de donde venga y que si la demanda de Juegos 3D genera unas inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D) mayores que el estudio del reconocimiento de imágenes en el cerebro, pues bienvenido sea...”

Agradecimientos:

El autor agradece la generosidad y comentarios de Patricia Muñetón y a Liliana Hernández-Cervantes, de la RDU y del Instituto de Astronomía de la UNAM, respectivamente. Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto PAPIIT IN121609 de la DGAPA

Figuras.



Figura 1. Típica unidad de procesamiento gráfico.

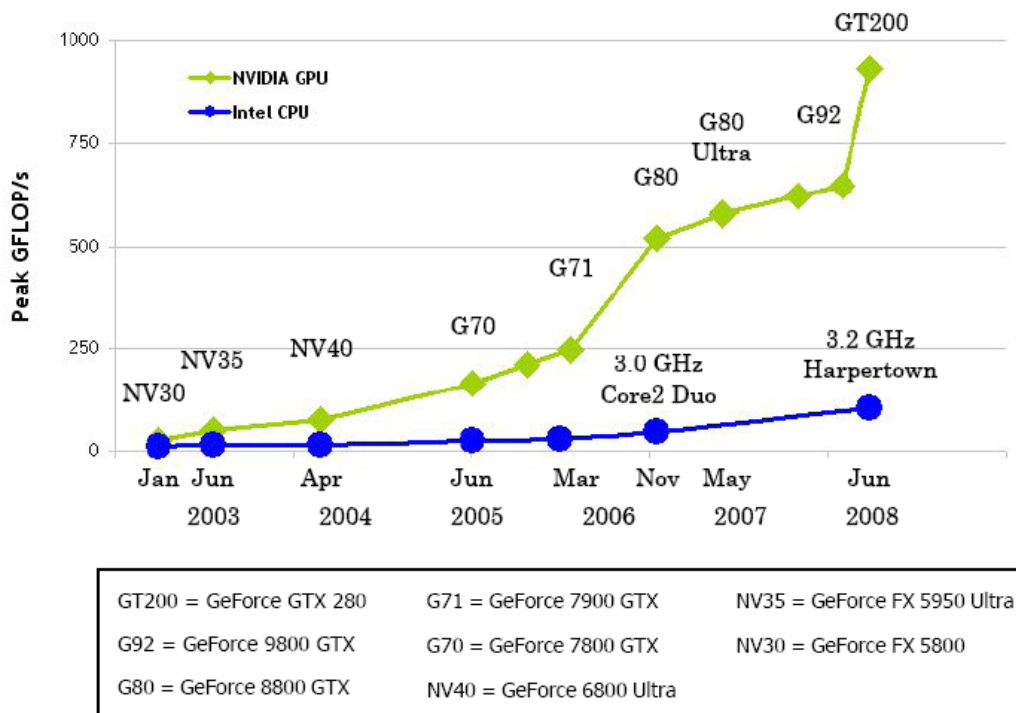


Figura 2. Créditos. Jawad Massod 2009 (<http://www.hardwareinsight.com/nvidia-cuda/>)

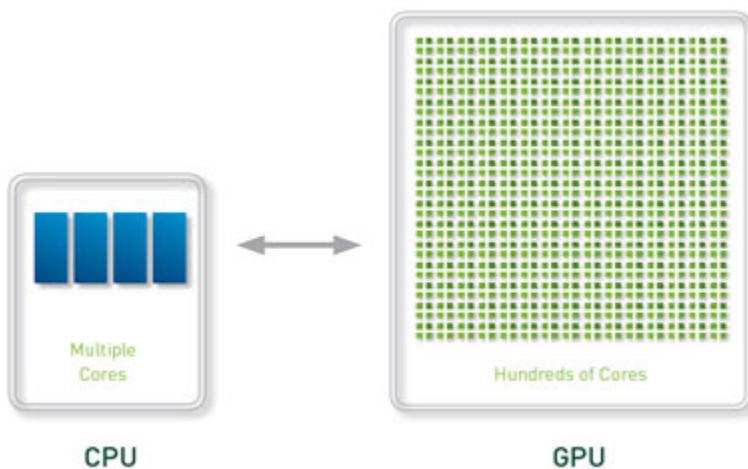


Figura 3. Computo de alto rendimiento gracias a la sinergia de las CPUs junto con las GPUs. Créditos. NVIDIA <http://www.nvidia.com/object/GPU_Computing.html>



Figura 4. En esta imagen, obtenida por el Telescopio Espacial Hubble, muestra el cúmulo globular M15, que está compuesto de más de 100 mil estrellas. Credito: ESA, Hubble, NASA.



Figura 5. Esta imagen muestra los espectaculares brazos espirales trazados por los cúmulos de estrellas jóvenes representados por puntos azules, así como delgados y oscuros senderos de polvo que parecen fluir del centro de la galaxia NGC 5584. Créditos: NASA, ESA, A. Riess (STScI/JHU), L. Macri (Texas A&M University), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).



Figura 6. La imagen muestra tres galaxias, del famoso Quinteto de Stephan, que están siendo distorsionadas por interacciones gravitacionales. Crédito: NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team.

Animaciones.

Animación 1. <http://www.youtube.com/watch?v=TkkBdU17300> Amber GPU vs CPU - NVIDIA Tesla Demonstration. Amber es un código numérico que se utiliza para hacer dinámica molecular (<http://ambermd.org>)

Animación 2. <http://www.youtube.com/watch?v=5kHJMnWPKdl&feature=fvsr> Simulación del sistema planetario de la estrella HD 10180. Crédito de la Animación Artística: ESO, L. Calçada.

Animación 3. <http://www.youtube.com/watch?v=CHWSHsAluhl&feature=related> Simulación numérica de N-cuerpos utilizando un código numérico de árbol Barnes-Hut ejecutado en GPUs. Créditos: Hu Jiang & Qianni Deng; Dept. of Comput. Sci. & Eng., Shanghai Jiao Tong Univ., Shanghai, China.

Animación 4. <http://www.youtube.com/watch?v=7LAsp0MJf4> Simulación numérica de N-cuerpos utilizando el código NBSymple: GPU vs CPU. Créditos: R. Capuzzo-Dolcetta, A. Mastrobuono-Battisti, Sapienza, Univ. of Roma, Italy.

Animación 5. http://www.youtube.com/watch?v=AOA-19n4tiQ&feature=watch_response Formación de la nebulosa planetaria NGC 6543 conocida como el Ojo de Gato. Créditos: NASA, ESA and Romano Corradi (Isaac Newton Group of Telescopes, Spain)

Animación 6. <http://www.youtube.com/watch?v=0J8srN24pSQ> Evolución de la explosión de supernova del Cangrejo. Créditos: ESA/Hubble

Animación 7. <http://www.youtube.com/watch?v=Qccljo6xDU4> Evolución de un disco de acreción auto-gravitante realizada con el código FARGO, el tamaño del disco es de aproximadamente 100 unidades astronómicas. Créditos: Tobias Müller, Institute for Astronomy and Astrophysics Tübingen.

Bibliografía.

Aguilar, L., Revista Mexicana de Física 38, No. 5 (1992) 701-738.

Beltrán, M., 2008, CPU vs GPU, Red de Conocimiento en Informática Industrial y Aplicaciones de Gestión en Tiempo Real, <<http://redindustria.blogspot.com/2008/07/cpu-vs-gpu.html>>

Capuzzo-Dolcetta, R., Mastrobuono-Battisti, A. & Maschietti, D., 2011, NBSymple, a double parallel, symplectic N-body code running on graphic processing units, New Astronomy, Vol. 16, Issue 4, p. 284-295.

Charte-Ojeda, F., 2010, Programación y paralelismo (CPU vs GPU), Torre de Babel, <<http://fcharte.com/Default.asp?noticias=2&a=2010&m=9&d=22>>

FARGO, Fast Advection in Rotating Gaseous Objects, <<http://fargo.in2p3.fr>>

Ito, T., Ebisuzaki, T., Makino, J., & Sugimoto, D. 1991, PASJ, 43, 547

Makino, J., Fukushige, T., Koga, M., & Namura, K. 2003, PASJ, 55, 1163

Masood, J., 2009, Nvidia CUDA, Hardware Insight, <<http://www.hardwareinsight.com/nvidia-cuda/>>.

Parallel N-Body Simulations, <<http://www.cs.cmu.edu/~scandal/alg/nbody.html>>

Santamaría, R., 2011, Evolución de las GPUs, <<http://www.raysanweb.com/articles/gpuhistory.htm>>.

Santillán, A. J., Hernández-Cervantes, L. y Franco, J., 2004, Simulaciones numéricas en astrofísica. Revista Digital Universitaria. <<http://www.revista.unam.mx/vol.5/num4/art24/art24.htm>>

Santillán, A., Hernández-Cervantes, L., 2010, El poder del Supercómputo en la Astrofísica Teórica., Revista Digital Universitaria, Vol. 11, No.3: <<http://www.revista.unam.mx/vol.11/num3/art25/int25.htm>> ISSN: 1607-6079.