

CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO Informe Científico¹

PERIODO ²: 2013-2014

Legajo N°:

1. DATOS PERSONALES

APELLIDO: Rinaldi

NOMBRES: Pablo

Dirección Particular: Calle: N°:

Localidad: Tandil CP: 7000 Tel:

Dirección electrónica (donde desea recibir información): rinaldipablo@gmail.com

2. TEMA DE INVESTIGACION

Modelos de Simulación Lattice Boltzmann para la simulación de fluidos mediante Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU)

3. DATOS RELATIVOS A INGRESO Y PROMOCIONES EN LA CARRERA

INGRESO: Categoría: Asistente Fecha: 07/2013

ACTUAL: Categoría: Asistente desde fecha: 07/2013

4. INSTITUCION DONDE DESARROLLA LA TAREA

Universidad y/o Centro: PLADEMA

Facultad:

Departamento:

Cátedra:

Otros:

Dirección: Calle: Pinto N°: 399

Localidad: Tandil CP: 7000 Tel: 4439690

Cargo que ocupa: Investigador

5. DIRECTOR DE TRABAJOS. (En el caso que corresponda)

Apellido y Nombres: Venere Marcelo Javier

Dirección Particular: Calle: N°:

Localidad: Tandil CP: 7000 Tel:

Dirección electrónica: venerem@exa.unicen.edu.ar

¹ Art. 11; Inc. "e" ; Ley 9688 (Carrera del Investigador Científico y Tecnológico).

² El informe deberá referenciar a años calendarios completos. Ej.: en el año 2008 deberá informar sobre la actividad del período 1°-01-2006 al 31-12-2007, para las presentaciones bianuales.

.....
 Firma del Director (si corresponde)

.....
 Firma del Investigador

6. EXPOSICION SINTETICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERIODO.

Debe exponerse, en no más de una página, la orientación impuesta a los trabajos, técnicas y métodos empleados, principales resultados obtenidos y dificultades encontradas en el plano científico y material. Si corresponde, explicita la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.

Durante los años 2013 y 2014 el investigador continuó con su línea de trabajo en el desarrollo de modelos de simulación numérica de fluidos basados en autómatas de Lattice Boltzmann (LBM) especialmente adaptados para sacar el máximo rendimiento del procesamiento paralelo disponible hoy día en las unidades de procesamiento gráfico (GPU). En colaboración con otros investigadores del grupo PLADEMA se evolucionó el modelo desarrollado durante el doctorado y postdoctorado extendiendo su campo de aplicaciones mediante la integración de diferentes condiciones de contorno. Se trabajó específicamente integrando un algoritmo de frontera inmersa que permite representar superficies irregulares curvas, superficies móviles e inclusive medios porosos. La complejidad de esta integración de modelos reside en que el método de frontera inmersa es un algoritmo de tipo implícito y que requiere una estructura de datos adicional con una disposición no regular mientras que el modelo de Lattice Boltzmann desarrollado y optimizado para correr en GPU es totalmente explícito y con una estructura de datos regular. Los resultados de estos desarrollos están siendo evaluados para su publicación en un Journal internacional.

En el años 2014 el grupo PLADEMA inició un Programa de 3 años entre la UNCPBA y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) para el desarrollo de software para aplicaciones especiales denominado PIDSAE. El investigador Pablo Rinaldi es el responsable para UNCPBA del proyecto en el que se incluye el desarrollo de simuladores de fluidos utilizando tecnología GPU y procesamiento de imágenes médicas.

También sobre fines de 2014 se inicia un proyecto a través de la Secretaría de Políticas Universitarias para el desarrollo de Modelos de Elevación de precisión para grandes extensiones, comenzando con el partido de Necochea. El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una metodología para corregir Modelos de Elevación de libre acceso y mejorar su nivel de precisión contrastando con mediciones locales aplicando algoritmos y técnicas extensivas. Los responsables del proyecto son el Dr. Rinaldi y su director Marcelo Vénere. En el pasado el ambos han desarrollado modelos similares para su utilización en simuladores de escurrimiento superficial también de desarrollo propio, con el que se han simulado exitosamente inundaciones reales y se pueden realizar análisis de riesgo hídrico. Este proyecto tiene mucha relación con los intereses de la Porvincia de Buenos Aires.

7. TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS O PUBLICADOS EN ESTE PERIODO.

7.1 PUBLICACIONES. *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellas publicaciones en las que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC (Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Toda publicación donde no figure dicha mención no debe ser adjuntada porque no será tomada en consideración. A cada publicación, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden que figuran en ella, lugar donde fue publicada, volumen, página y año. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparece en la publicación. La copia en papel de cada publicación se presentará por separado. Para cada publicación, el investigador deberá, además, aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del trabajo y,*

para aquellas en las que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación.

7.2 TRABAJOS EN PRENSA Y/O ACEPTADOS PARA SU PUBLICACIÓN. *Debe hacer referencia exclusivamente a aquellos trabajos en los que haya hecho explícita mención de su calidad de Investigador de la CIC (Ver instructivo para la publicación de trabajos, comunicaciones, tesis, etc.). Todo trabajo donde no figure dicha mención no debe ser adjuntado porque no será tomado en consideración. A cada trabajo, asignarle un número e indicar el nombre de los autores en el mismo orden en que figurarán en la publicación y el lugar donde será publicado. A continuación, transcribir el resumen (abstract) tal como aparecerá en la publicación. La versión completa de cada trabajo se presentará en papel, por separado, juntamente con la constancia de aceptación. En cada trabajo, el investigador deberá aclarar el tipo o grado de participación que le cupo en el desarrollo del mismo y, para aquellos en los que considere que ha hecho una contribución de importancia, deberá escribir una breve justificación.*

7.3 TRABAJOS ENVIADOS Y AUN NO ACEPTADOS PARA SU PUBLICACION. *Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo, indicando el lugar al que han sido enviados. Adjuntar copia de los manuscritos.*

"GPU Implementation of Lattice-Boltzmann Method with Immersed Boundary Conditions for Fast Fluid Simulations". Gustavo A. Boroni, Javier Dottori, Pablo R. Rinaldi, Diego D. Dalponte

The Lattice Boltzmann Method (LBM) has shown great potential in the simulation of fluids, but the performance issues and the difficulties to manage complex boundary conditions have hindered a wider application. The upcoming of GPU Computing offered a possible solution for the performance issue, and methods like the Immersed Boundary (IB) algorithm proved to be a flexible solution to boundaries. Unfortunately, the implicit IB algorithm makes much more difficult the LBM implementation in GPU. This aim of this work is to present a parallel GPU implementation of LBM in combination with IB. The fluid-boundary interaction is implemented via GPU kernels, using execution configurations and data structures specifically designed to accelerate the code execution. The simulations were validated against experimental and analytical data showing good agreement and improving the performance of the method. Substantial reductions of the calculation rates were achieved, lowering down to near two magnitude orders the time required to execute the same model in a CPU.

Journal: Computers & Mathematics with Applications. Manuscript Number: CAMWA-D-14-00357. ISSN: 0898-1221. Url: <http://www.journals.elsevier.com/computers-and-mathematics-with-applications/>

7.4 TRABAJOS TERMINADOS Y AUN NO ENVIADOS PARA SU PUBLICACION. *Incluir un resumen de no más de 200 palabras de cada trabajo.*

7.5 COMUNICACIONES. *Incluir únicamente un listado y acompañar copia en papel de cada una. (No consignar los trabajos anotados en los subtítulos anteriores).*

7.6 INFORMES Y MEMORIAS TECNICAS. *Incluir un listado y acompañar copia en papel de cada uno o referencia de la labor y del lugar de consulta cuando corresponda.*

8. TRABAJOS DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS.

8.1 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS. *Describir la naturaleza de la innovación o mejora alcanzada, si se trata de una innovación a nivel regional, nacional o internacional, con qué financiamiento se ha realizado, su utilización potencial o actual por parte de empresas u otras entidades, incidencia en el mercado y niveles de facturación del respectivo producto o servicio y toda otra información conducente a demostrar la relevancia de la tecnología desarrollada.*

8.2 PATENTES O EQUIVALENTES. *Indicar los datos del registro, si han sido vendidos o licenciados los derechos y todo otro dato que permita evaluar su relevancia.*

8.3 PROYECTOS POTENCIALMENTE TRANSFERIBLES, NO CONCLUIDOS Y QUE ESTAN EN DESARROLLO. *Describir objetivos perseguidos, breve reseña de la labor realizada y grado de avance. Detallar instituciones, empresas y/o organismos solicitantes.*

Dentro del programa PIDSAE se comenzó a trabajar en la aplicación de los modelos de simulación de fluidos para aplicaciones nucleares, particularmente Lattice Boltzman con Frontera Inmersa para medios porosos.

Por otro lado, para el convenio SPU del desarrollo de MDEs se comenzó con la implementación y prueba de algoritmos paralelos de segmentación en imágenes satelitales para la identificación de vegetación con el objetivo de restar la altura de los árboles a los MDE de origen radar como SRTM

8.4 OTRAS ACTIVIDADES TECNOLÓGICAS CUYOS RESULTADOS NO SEAN PUBLICABLES *(desarrollo de equipamientos, montajes de laboratorios, etc.).*

8.5 Sugiera nombres (e informe las direcciones) de las personas de la actividad privada y/o pública que conocen su trabajo y que pueden opinar sobre la relevancia y el impacto económico y/o social de la/s tecnología/s desarrollada/s.

9. SERVICIOS TECNOLÓGICOS. *Indicar qué tipo de servicios ha realizado, el grado de complejidad de los mismos, qué porcentaje aproximado de su tiempo le demandan y los montos de facturación.*

10. PUBLICACIONES Y DESARROLLOS EN:

10.1 DOCENCIA

Como Jefe de Trabajos prácticos de la cátedra de Estructuras de Almacenamientos de Datos de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la UNCPBA el Investigador confeccionó el enunciado para el trabajo especial de cátedra y las pautas de realización. También se trabajó con el resto del personal de la cátedra en la actualización de los prácticos de cursada.

Como docente a cargo de la materia GPU Computing conjuntamente con el Dr. Juan D'Amato elaboró las diapositivas para las clases teóricas y el material de evaluación.

10.2 DIVULGACIÓN

11. DIRECCION DE BECARIOS Y/O INVESTIGADORES. *Indicar nombres de los dirigidos, Instituciones de dependencia, temas de investigación y períodos.*

12. DIRECCION DE TESIS. *Indicar nombres de los dirigidos y temas desarrollados y aclarar si las tesis son de maestría o de doctorado y si están en ejecución o han sido defendidas; en este último caso citar fecha.*

- 13. PARTICIPACION EN REUNIONES CIENTIFICAS.** *Indicar la denominación, lugar y fecha de realización, tipo de participación que le cupo, títulos de los trabajos o comunicaciones presentadas y autores de los mismos.*
Primer Congreso Internacional Científico Tecnológico de la Pcia de Buenos Aires. La Plata 2013. Organizado por la CIC, Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología. Conjuntamente con otros investigadores y personal de apoyo del centro asociado PLADEMA se presentó el stand del Instituto con material audiovisual de las líneas de investigación.
- 14. CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO, VIAJES DE ESTUDIO, ETC.** *Señalar características del curso o motivo del viaje, período, instituciones visitadas, etc.*
- 15. SUBSIDIOS RECIBIDOS EN EL PERIODO.** *Indicar institución otorgante, fines de los mismos y montos recibidos.*
Proyecto SPU 3289 Alc 2. Construcción de Modelos Topográficos de precisión para grandes extensiones en Necochea en la Provincia de Buenos Aires. Monto total: \$150.000. 12/2014 - 10/2015.
CNEA. Programa Interinstitucional de Desarrollo de Software para Aplicaciones Especiales (PIDSAE). Monto total: \$2.500.000. 9/2014 - 12/2017.
- 16. OTRAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO.** *Describir la naturaleza de los contratos con empresas y/o organismos públicos.*
- 17. DISTINCIONES O PREMIOS OBTENIDOS EN EL PERIODO.**
- 18. ACTUACION EN ORGANISMOS DE PLANEAMIENTO, PROMOCION O EJECUCION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA.** *Indicar las principales gestiones realizadas durante el período y porcentaje aproximado de su tiempo que ha utilizado.*
Miembro representante Docente Auxiliar del Honorable Consejo Académico Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas período 2014-2015. Dedicación aproximada 8 horas mensuales, 4.5 % del tiempo total.
- 19. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERIODO.** *Indicar el porcentaje aproximado de su tiempo que le han demandado.*
Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario. Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Cátedras: Ciencias de la Computación I, Estructuras de Almacenamiento de Datos e Introducción al de GPU Computing. Cursos de Posgrado: Nociones de GPU Computing. Dedicación simple, porcentaje total aproximado 10%.
- 20. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TITULOS ANTERIORES.** *Bajo este punto se indicará todo lo que se considere de interés para la evaluación de la tarea cumplida en el período.*
- 21. TITULO Y PLAN DE TRABAJO A REALIZAR EN EL PROXIMO PERIODO.** *Desarrollar en no más de 3 páginas. Si corresponde, explicité la importancia de sus trabajos con relación a los intereses de la Provincia.*

"Paralelización de algoritmos no triviales sobre placas gráficas GPU – Aplicación a la simulación de fluidos y el procesamiento de imágenes."

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

GPU Computing: Las arquitecturas de hardware más recientes pueden mejorar notablemente la performance de algunos algoritmos a través del uso de procesadores multi-núcleo. Estas arquitecturas permiten que se ejecuten múltiples hilos de ejecución para resolver los cálculos en paralelo y reducir el tiempo total de ejecución del código. El uso de Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU) para procesamiento de propósito general (denominado también GPU Computing o GPGPU) es el caso más extremo de este principio y surgió como una evolución del uso específico de estas placas. Los diseñadores de GPUs adoptaron la arquitectura multi-núcleo mucho antes que los diseñadores de CPU debido a la naturaleza trivialmente paralela del renderizado de gráficos [Thibault 2009].

Las GPUs se basan en la arquitectura de procesamiento de streams [Owens 2007] la cual es aplicable a tareas de cálculo intensivo altamente paralelizables [Nvidia 2008]. En la actualidad, existen placas gráficas específicamente diseñadas para ser utilizadas como procesadores de alta performance multi-núcleo y también lenguajes de programación adaptados a estas tecnologías como NVIDIA CUDA [Nvidia 2008] u OpenCL [OpenCL 2014].

Desde su surgimiento alrededor del 2006, el GPU Computing ha atraído a numerosos científicos de variadas disciplinas, como dinámica molecular [Anderson 2008] [Liu 2007] [Jfimtsev 2008], biología computacional [Schatz 2007], álgebra lineal [Barrachina 2008] [Castillo 2008], meteorología [Michalakes 2008], inteligencia artificial [Bleiweiss 2008] y dinámica de fluidos computacional (CFD). Particularmente en CFD los modelos de autómatas celulares altamente paralelizables como el método de Lattice Boltzmann (LBM) han logrado grandes avances en performance [Zeiser 2008] [Mazzeo 2008] [Tölke 2010] [Rinaldi 2012].

Si bien en muchos casos los códigos GPU corren uno e incluso dos órdenes de magnitud más rápido que sus equivalentes en CPU, el uso de todo el potencial de esta case de hardware no es una tarea sencilla. Muchas veces es necesario reescribir y optimizar los códigos secuenciales existentes para aprovechar el 100% del poder de cómputo de las GPU. Además, la mayoría de estos trabajos se basan en algoritmos trivialmente paralelizables, que encajan perfectamente con el paradigma de GPU Computing. Estos algoritmos tienen en común ciertas características de ejecución y sobre todo en lo que respecta a las estructuras de datos necesarias.

Pero también existen muchos algoritmos que se sabe son la solución más eficiente a un número de problemas típicos que no cumplen con estas características y por lo tanto no tienen buen rendimiento sobre una GPU. Lee et al. [2010] reportan un aumento de velocidad promedio de 2,5 para varios algoritmos en la GPU vs. Códigos CPU optimizados, y trabajos como el de Vuduc et al. [2010] mencionan algoritmos memoria-intensivos que se desempeñan al mismo nivel en la GPU o incluso peor que en CPU. El desafío se encuentra entonces en lograr aceleraciones razonables para algoritmos no triviales y darle mayor aplicabilidad a códigos eficientes en GPU aunque esto sea a costa de perder algo de performance.

LBM y Simulación de Fluidos: En lo relativo a CFD, el método LBM ha sido implementado exitosamente en GPU brindando soluciones válidas para una gran variedad de escenarios en simulación de fluidos computacional [Zeiser 2008] [Mazzeo 2008] [Tölke 2010] [Rinaldi 2012]. Sin embargo, para que las simulaciones tengan aplicación real a problemas complejos se requiere mayor flexibilidad en las condiciones de contorno. Una solución posible es utilizarlo en combinación con otros métodos como el algoritmo de Frontera Inmersa (IB) [Peskin 2002]. Desarrollado inicialmente para lidiar con barreras flexibles en métodos de elementos finitos, en IB la frontera se representa por un conjunto de partículas sin masa acopladas entre sí y a la grilla principal por

fuerzas elásticas. El fluido circundante en movimiento mueve al conjunto de partículas al mismo tiempo que la fuerza generada por la distorsión de la frontera se transfiere al fluido [Cheng 2010]. Cheng y Zhang [2010] propusieron acoplar LBM con el método de Frontera Inmersa para simular paredes curvas móviles en hemodinámica. La combinación LBM con el método de Frontera Inmersa (IB) permite interacciones fluido-sólido mucho más complejas manteniendo parte de la simplicidad de LBM [2013]. Sin embargo IB agrega complejidad y parámetros al LBM básico; el cálculo de la frontera requiere una iteración interna implícita, que no es trivial de implementar sobre GPU y que genera un desbalance de carga en los threads paralelos de la placa gráfica. Esto le quita performance y ventajas al GPU Computing. No obstante se han logrado buenos resultados en implementaciones recientes de este algoritmo combinado [Boroni 2014].

OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS PARTICULARES

Como objetivos generales se planea continuar en el desarrollo de modelos de simulación numérica de fluidos basados en autómatas de Lattice Boltzmann (LBM) sobre GPU evolucionando el modelo 3D desarrollado durante el doctorado y postdoctorado extendiendo su campo de aplicaciones mediante la integración del algoritmo de frontera inmersa. El modelo será aplicado a simulaciones complejas de fluidos como canales semiobstruidos o medios porosos y canales con paredes móviles en simulación hemodinámica que es una de las líneas principales actuales dentro del grupo PLADEMA.

Por otro lado, se pretende trabajar de manera conjunta con las demás líneas de investigación del grupo en la implementación sobre GPU de algoritmos específicos de alto costo computacional, más precisamente en el área de procesamiento de imágenes satelitales y modelos digitales de elevación.

Objetivos Particulares:

1. Desarrollar un modelo de simulación de fluidos combinando LBM 3D con Frontera Inmersa utilizando lenguaje CUDA para su ejecución en hardware de gráficos GPU.
2. Estudiar la aplicación de estos modelos a simulación de fluidos en hemodinámica. Particularmente en esquemas de grillas ralas con gran cantidad de nodos sin fluido.
3. Analizar la implementación de algoritmos de procesamiento de modelos de elevación sobre GPU. Puntualmente la segmentación y filtrado para la eliminación de zonas de vegetación en modelos SRTM en grandes áreas dentro del Proyecto DEMs de la SPU.

BIBLIOGRAFÍA

[Anderson 2008] Anderson, J., Lorenz, C. and Travesset, A., "General Purpose Molecular Dynamics Simulations Fully Implemented on Graphics Processing Units," Journal of Computational Physics, Vol. 227, No. 10, 2008, pp. 5342-5359.

[Barrachina 2008] Barrachina, S., Castillo, M., Igual, F. D., Mayo, R. and Quintana-Orti, E. S., "Solving Dense Linear Systems on Graphics Processors," Technical Report ICC 02-02-2008, Universidad Jaume I, Depto. de Ingenieria y Ciencia de Computadores, February 2008.

[Bleiweiss 2008] Bleiweiss, A., "GPU Accelerated Pathfinding," Proceedings of the 23rd ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Graphics Hardware, Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, 2008, pp. 65-74.

[Boroni 2013] Boroni G, Dottori J, Dalponte D, Rinaldi P, Clause A (2013). An improved Immersed-Boundary algorithm for fluid-solid interaction in Lattice-Boltzmann simulations. Latin American Applied Research, accepted 2013

[Boroni 2014] Boroni G, Dottori J, Dalponte D, Rinaldi P (2014). GPU Implementation of Lattice-Boltzmann Method with Immersed Boundary Conditions for Fast Fluid Simulations. Journal: Computers & Mathematics with Applications. Manuscript Number: CAMWA-D-14-00357. Enviado 2014.

[Castillo 2008] Castillo, M., Chan, E., Igual, F. D., Mayo, R., Quintana-Orti, E.S., Quintana-Orti, G., van de Geijn, R. and Van Zee, F.G. Making Programming

Synonymous with Programming for Linear Algebra Libraries”, Technical Report, University of Texas at Austin, Department of Computer Science, Vol. 31, April 17, 2008, pp. 8-20.

[Cheng 2010] Cheng F, Zhang H (2010). Immersed boundary method and lattice Boltzmann method coupled FSI simulation of mitral leaflet flow. *Computers & Fluids* 39: 871-881.

[Jenkins 2011] Jenkins, J., Arkatkar, I., Owens, J. D., Choudhary, A., Samatova, N. F. (2011). Lessons Learned from Exploring the Backtracking Paradigm on the GPU. *Euro-Par 2011 Parallel Processing. Lecture Notes in Computer Science* 6853: 425-437.

[Jfimtsev 2008] Ufimtsev, I. and Martinez, T., “Quantum Chemistry on Graphical Processing Units. 1. Strategies for Two-electron Integral Evaluation,” *Journal of Chemical Theory and Computation*, Vol. 4, No. 2, 2008, pp. 222-231.

[Lee et al 2010] V. W. Lee, C. Kim, et al. Debunking the 100X GPU vs. CPU myth: An evaluation of throughput computing on CPU and GPU. *Int'l Symposium on Computer Architecture*, pages 451-460, 2010.

[Liu 2007] Liu, W., Schmidt, B., Voss, G. and Muller-Wittig, W., “Molecular Dynamics Simulations on Commodity GPUs with CUDA,” *Lecture Notes in Computer Science, High Performance Computing HiPC 2007*, Vol. 4873, Springer, New York, 2007, pp.185-196.

[Mazzeo 2008] Mazzeo MD, Coveney PV (2008). HemeLB: A high performance parallel lattice-Boltzmann code for large scale fluid flow in complex geometries. *Computer Physics Communications*. 178(12): 894-914.

[Michalakes 2008] Michalakes, J. and Vachharajani, M., “GPU Acceleration of Numerical Weather Prediction,” *Proceedings of the IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing*, IEEE Computer Society, Washington, DC, 2008.

[Nvidia 2008] NVIDIA, “NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture Programming Guide, Version 2.0,” 2008.

[OpenCL 2014] OpenCL: The open standard for parallel programming of heterogeneous systems <https://www.khronos.org/opencv/>.

[Owens 2007] Owens, J., Luebke, D., Govindaraju, N., Harris, M., Kruger, J., Lefohn, A. and Purcell, T. “A Survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware,” *Computer Graphics Forum*, Vol. 26, No.1, 2007, pp. 80-113.

[Peskin 2002] Peskin C. S. The immersed boundary method. *Acta Numer* 11, 479–517. 2002.

[Rinaldi 2012] Rinaldi PR, Dari EA, Vénere MJ, Clausse A (2012). A Lattice-Boltzmann solver for 3D fluid simulation on GPU. *Simulation Modelling Practice and Theory* 25: 163-171.

[Schatz 2007] Schatz, M. C. and Trapnell, C. Delcher, A. L. and Varshney, A., “High-throughput Sequence Alignment using Graphics Processing Units,” *BMC Bioinformatics, BioMed Central*, 2007.

[Thibault 2009] CUDA Implementation of a Navier-Stokes Solver on Multi-GPU Desktop Platforms for Incompressible Flows Julien C. Thibault1 and Inanc Senocak2 Boise State University, Boise, Idaho, 83725.

[Tölke 2010] Tölke J (2010). Implementation of a lattice Boltzmann kernel using the compute unified device architecture developed by NVIDIA. *Computing and Visualization in Science* 13(1): 29–39.

[Vuduc et al 2010] 18. R. Vuduc, A. Chandramowlishwaran, J. Choi, M. Guney, and A. Shringarpure. On the limits of GPU acceleration. *Hot Topics in Parallelism*, 35(5), 2010.

[Zeiser 2008] Zeiser T, Wellein G, Nitsure A, Iglberger K, Rude U, Hager G. Introducing a parallel cache oblivious blocking approach for the lattice Boltzmann method. *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal* 8(1): 179-188. 2008.

Condiciones de la presentación:

- A. El Informe Científico deberá presentarse dentro de una carpeta, con la documentación abrochada y en cuyo rótulo figure el Apellido y Nombre del Investigador, la que deberá incluir:
- Una copia en papel A-4 (puntos 1 al 21).
 - Las copias de publicaciones y toda otra documentación respaldatoria, en otra carpeta o caja, en cuyo rótulo se consignará el apellido y nombres del investigador y la leyenda "Informe Científico Período".
 - Informe del Director de tareas (en los casos que corresponda), en sobre cerrado.
- B. Envío por correo electrónico:
- Se deberá remitir por correo electrónico a la siguiente dirección: infinvest@cic.gba.gov.ar (puntos 1 al 21), en formato .doc zipeado, configurado para papel A-4 y libre de virus.
 - En el mismo correo electrónico referido en el punto a), se deberá incluir como un segundo documento un currículum resumido (no más de dos páginas A4), consignando apellido y nombres, disciplina de investigación, trabajos publicados en el período informado (con las direcciones de Internet de las respectivas revistas) y un resumen del proyecto de investigación en no más de 250 palabras, incluyendo palabras clave.

Nota: El Investigador que desee ser considerado a los fines de una promoción, deberá solicitarlo en el formulario correspondiente, en los períodos que se establezcan en los cronogramas anuales.