

Simulación de altas prestaciones (GPU) para la reproducción del mosquito *Aedes aegypti* en el cementerio de Santo Tomé, Corrientes

Erica Montes de Oca¹, Remo Suppi², Laura De Gisuti¹, Marina Leporace³,
Maria Victoria Micieli⁴, Maria Soledad Santini⁵ y Marcelo Naiouf¹

¹ Instituto de Investigación en Informática LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) - Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), La Plata, Buenos Aires, Argentina
{emontesdeoca,ldgiusti,mnaiouf}@lidi.info.unlp.edu.ar

² Universitat Autònoma de Barcelona, Department Computer Architecture & Operating System, Facultad de Ingeniería, Campus Bellaterra, Barcelona, España
{remo.suppi}@uab.cat

³ Laboratorio de Control de Vectores Entomológicos de Importancia Sanitaria (LaCEVEIS), Fundación Barceló, Santo Tomé, Corrientes, Argentina
{marinaleporace}@barcelo.edu.ar

⁴ Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina
{victoria}@cepave.edu.ar

⁵ Centro Nacional de Diagnóstico e Investigación en Endemoepidemias (CeNDIE) - Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud (ANLIS), Capital Federal, Buenos Aires, Argentina
{mariasoledadsantini}@gmail.com

Abstract. El Dengue, Zika y Chikungunya, son las enfermedades reemergentes de mayor preocupación a nivel mundial. La carencia de tratamientos médicos obliga a los agentes de salud a abordar la contención de los focos infecciosos desde la identificación y eliminación de los criaderos del vector transmisor. Una herramienta tecnológica que ayude en la toma de decisiones representa la solución a los costos asociados al tiempo de recolección de muestras y el análisis de datos, además de la consiguiente reducción de los gastos económicos. En este trabajo se presenta un modelo basado en agentes en GPU para la evaluación de la reproducción del vector *Aedes aegypti*, orientado a la toma de decisiones. El modelo ha sido validado con datos de Santo Tomé, Corrientes, dando excelentes resultados. En el trabajo se muestran las ventajas de utilizar una arquitectura paralela (GPU) para reducir el tiempo de cómputo de las simulaciones y, se presentan los resultados de una predicción realizada y validada con datos del sistema real.

Keywords: ABM, FLAME GPU, GPU, Enfermedades Infecciosas, *Aedes aegypti*, Productividad Pupal.

1 Introducción

La modificación del ambiente circundante afecta a las especies animales, a tal punto que pueden producir su extinción, su sobre-población o su adaptación a otras latitudes que nunca habían tenido trascendencia. Algunas especies migran hacia territorios que no son sus espacios habituales de cría, adaptándose y colonizando esas nuevas áreas en forma rápida y con un gran impacto en el entorno. Estas invasiones suelen alterar el ecosistema regional, ocasionando competencia con las especies nativas y, en ciertas ocasiones, participar en la transmisión de enfermedades locales o de nuevas enfermedades. Su rápida expansión se ve beneficiada por las rutas comerciales y turísticas, la construcción de viviendas y asentamiento sin planificación urbana y ambiental, y la ineficiencia de las campañas de control y prevención de su reproducción [1] [2].

En nuestro país, la especie de mosquito *Aedes aegypti*, es la responsable de la transmisión de la fiebre del Dengue, entre otras. Su población se encuentra distribuida entre las provincias del noroeste y noreste argentino (NOA, NEA), centro y norte de la Patagonia [3].

Un aspecto muy importante en la contención de las enfermedades derivadas de estas especies, son los estudios de campo sobre la población de mosquitos que incluyen la recolección de los estadios inmaduros del vector durante cierto período de tiempo. Estos datos, una vez analizados y contextualizados, permiten llegar a conclusiones para determinar las tareas que se deberán llevar a cabo en la prevención de la propagación y transmisión de los agentes infecciosos de los cuales son responsables. Esta recolección y análisis no es una tarea fácil, ya que requiere profesionales capacitados para tal fin y, un presupuesto económico importante para que los datos extraídos puedan ser utilizados de forma eficiente para la toma de decisiones. Es evidente que dada la gran extensión a cubrir la tecnología, por medio de la simulación de altas prestaciones, puede ser de gran ayuda para la construcción de políticas públicas, permitiendo predecir y tomar decisiones en tiempos reducidos, o realizar experimentos de campo de una forma selectiva para confirmar los resultados obtenidos por simulación.

Claramente, este sistema real denota una gran complejidad y elementos que son difíciles de modelar a través de modelos clásicos, pero a través del uso del modelado basado en agentes (ABM), la ciencia computacional permitirá estudiar, conocer y comprender los vínculos y comportamientos de los individuos que componen el sistema y, fundamentalmente, modelarlos y reproducir su comportamiento [4] [5].

Un aspecto no menos importante de este tipo de simulaciones es la potencia de cómputo necesaria para modelos de muchos individuos (agentes) o con reglas de interacción complejas. Por esto la computación paralela es necesaria, no sólo para reducir el tiempo de cada simulación para un número importante de individuos, sino para lograr obtener el número adecuado de simulaciones con estabilidad estadística [6]. Arquitecturas como las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPUs) son muy adecuadas para este tipo de problemas, ya que permiten la reducción significativa del tiempo de cómputo (con un costo por MFLOP más que aceptable), e incrementar la escalabilidad del problema, mejorar las prestaciones y reducir el tiempo de procesamiento de cada simulación o incrementar la complejidad del modelo para analizar diferentes tipos de interacciones/reglas de comportamiento [7] [8].

En este trabajo se presenta un simulador para modelos basados en agentes desarrollado en el entorno Flame GPU [9], que permite la evaluación de la productividad pupal de los criaderos del mosquito *Aedes aegypti*. Este entorno de simulación, funcionando sobre una arquitectura paralela de bajo costo, permite la simulación de situaciones/entornos que ayuden a la toma de decisiones sobre la prevención y el control de la población de *Aedes aegypti*, así como el análisis de casos para validar las decisiones tomadas o tratar de entender el comportamiento y aprender de estas.

2 Antecedentes

El mosquito *Aedes aegypti* es originario de África y se reproduce en latitudes tropicales y subtropicales. Es el responsable de la transmisión de los agentes causantes de enfermedades tales como: Dengue, Zika, y Chikungunya. Esta especie se adapta con facilidad a lugares poblados, beneficiándose de todo objeto que acumule agua para utilizarlo como criadero [10] [11] [12].

Las etapas de vida del mosquito comprenden los estados de huevo, larva, pupa y adulto y, el ciclo completo de vida ronda entre los 42 a 56 días.

El mosquito adquiere el virus cuando pica a una persona en estado virémico [13]. El virus sólo se transmite por la picadura del mosquito [2], pero existen casos comprobados de contagios de Zika a través de fluidos (líquido amniótico, semen, y sangre) [14]. Sólo las hembras ingieren sangre que utilizan para la producción de huevos [15] [16] [17] [18].

Aedes aegypti, utiliza una gran variedad de contenedores artificiales o naturales para su reproducción y la elección del recipiente para la oviposición es variada. Depende de la adaptación de la población del mosquito a cada zona, así como también, de los hábitos y actitudes de la población en relación a los recipientes [19].

La productividad del contenedor representa la tasa de mosquitos que tienen la probabilidad de llegar a la etapa adulta y, por consiguiente, ser un potencial transmisor de agentes infecciosos. El principal método que se propone para el control de estos insectos está centrado en el manejo integrado de vectores, siendo una de las estrategias, la eliminación de los criaderos del mosquito que resultan más productivos [7] [20] ya que, permiten el controlar sin efectos tóxicos o sin alterar el equilibrio genético de la especie, como proponen otros métodos de control.

La importancia sanitaria del control de la población del mosquito *Aedes aegypti* se traduce en las campañas de prevención y control que la Organización Mundial de la Salud (OMS) que recomienda llevar a cabo, ya que la disminución de la abundancia de mosquitos reduce sustancialmente los focos de infección y permitiría a largo plazo, a través de la aplicación sistemática de campañas de prevención, la erradicación de dichas enfermedades [11].

3 Modelado y simulación

El modelo desarrollado está compuesto por tres actores básicos: personas, mosquitos y contenedores. El modelo es paramétrico y el usuario puede definir un conjunto de parámetros como (entre los más habituales) poblaciones de personas y mosquitos, cantidad y tipos de contenedores, porcentaje de personas y/o mosquitos infectados, productividad de los contenedores, cantidad de días de simulación, dimensiones del mundo virtual; también se pueden modificar parámetros específicos como ciclo de vida, etapas, número de huevos, entre otros, para ajustar el modelo específicamente a la especie y el entorno bajo estudio. Los mosquitos pasan por todas las etapas del ciclo de vida del vector comenzando por los mosquitos en estado huevo y luego de los días correspondientes a las etapas de larva y pupa y finalmente a un mosquito adulto. Como vector adulto buscará picar una persona, y luego, depositará los huevos en un contenedor.

El mosquito contrae la enfermedad al picar una persona infectada. Una vez cumplido el período de incubación del virus (aprox. entre 8 a 12 días), el mosquito si pica a una persona sana, la contagiará, y el virus permanecerá en él el resto de su vida (ver Fig. 1).

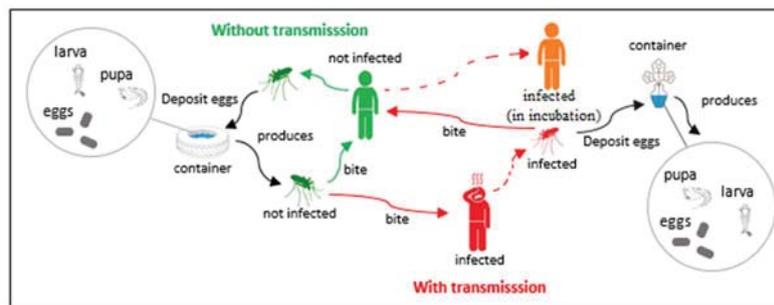


Fig. 1 Agentes y sus estados en el modelo de simulación propuesto

Los porcentajes de productividad de los contenedores que se utilizan se basan en el índice pupal que estima la cantidad de mosquitos adultos que emergerán de dicho contenedor. Sin embargo, el modelo es lo suficiente genérico para permitir que la productividad de los contenedores pueda ser definida a través de los índices larvales o pupales. Esta decisión es importante ya que, dependiendo de éste, la predicción variará (a causa de la tasa de mortalidad de cada etapa) por lo cual se recomienda trabajar con índices pupales siempre y cuando sea posible.

4 Experimentación y resultados

El modelo inicial, desarrollado en NetLogo, fue descartado para casos de uso real ya que dadas las limitaciones del entorno (número de agentes, dimensiones del terreno, reglas de interacción, ejecución secuencial, etc.) no cumplía con los objetivos propuestos. El modelo actual se diseñó bajo la premisa de acelerar las ejecuciones, llegar a un número de individuos de sistemas reales, y la decisión fue utilizar arquitecturas GPU por buena relación entre capacidad de cómputo/costo. Como núcleo de simulación para ejecución de agentes en paralelo se utilizó el framework Flame GPU, que es un entorno que le permite al programador concentrarse en los detalles del modelo y abstraerse de las particularidades de la arquitectura subyacente.

Las ventajas en la reducción de los tiempos de ejecución de las simulaciones entre los dos modelos son evidentes. Por ejemplo, teniendo una población de 100 personas, con un número inicial de mosquitos de 30,000 individuos considerando la productividad de los recipientes, el tiempo promedio de ejecución de la simulación en NetLogo es de 129 segundos, mientras que en GPU es de 16 segundos. La limitación del ambiente de simulación en NetLogo se aprecia claramente en la imposibilidad de ejecutar simulaciones con ésta misma cantidad de individuos pero sin considerar la productividad de los contenedores, ya que la población mosquitos tiene un crecimiento exponencial.

Un paso crucial para estas simulaciones fue la validación del modelo que se realizó tanto para el modelo inicial (desarrollado en NetLogo), como para el modelo actual implementado sobre Flame GPU [21]. La validación se realizó con datos de un entorno real sobre un estudio de campo llevado a cabo en Sao Sebastiao en Brasil, en un área de 400,4 Km² donde se realizó un análisis de muestras exhaustivo con recolección de los estadios inmaduros del vector durante la temporada de reproducción entre los años 2002-2004 [22].

Sin embargo, los recipientes relacionados a los hábitos de la población son distintos, así como también la ecología del vector y las condiciones ambientales, por tal razón resulta imprescindible que la herramienta sea validada con datos de nuestro país para que pueda ser utilizada efectivamente.

Para validar el modelo con información de Argentina, los datos utilizados fueron recolectados a través de un estudio de campo en el cementerio de Santo Tomé, Corrientes, durante los meses de agosto de 2017 y mayo a junio de 2018. El modelo fue modificado y adaptado a los recipientes utilizados comúnmente en un cementerio: floreros de plástico, de vidrio, de cerámica, de cemento, macetas, u otros recipientes, realizando una clasificación de siete tipos de contenedores diferentes donde a partir de la cantidad de pupas recolectadas se obtuvo la productividad pupal de cada recipiente.

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo permite ser configurado para analizar el comportamiento de la población del mosquito considerando la productividad pupal de los contenedores, por lo que la cantidad de mosquitos total durante la simulación se verá reducida. Este dato es importante ya que, si no se la tiene en cuenta, la población del vector crecerá de manera exponencial, ya que el 100% de los huevos depositados en cada contenedor llegarán a la etapa adulta.

Una vez calibrado el modelo, se realizó una serie de experimentos, para validar la información obtenida con los datos del sistema real. Como arquitectura base se utilizó

una GPU GeForce GTX 960 Ti con 2 GB GDDR5, con 1024 cores y un ancho de memoria de 128 bits. En la Fig. 2, se puede observar el porcentaje de pupas por contenedor para el modelo de referencia (sistema real) y el modelo propuesto (desarrollado en Flame GPU) para una población de mosquitos inicial de 3000 individuos, simulando un total de 100 días y siete tipos de contenedores (Container ID). Los resultados aquí presentados representan un promedio de cincuenta ejecuciones de la simulación.

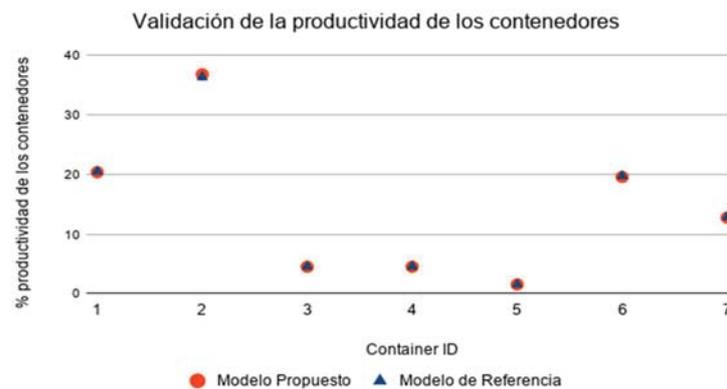


Fig. 2 Validación de la productividad de los contenedores del modelo desarrollado en FLAME GPU con el sistema real

Las diferencias entre los porcentajes de productividad entre los modelos (Fig. 2), no superan el 1% en todos los casos. La mayor diferencia se encontró en el contenedor 2 (floreros de plástico negro), que representa el recipiente con mayor productividad del sistema, y fue del 0,46%. Claramente, los resultados obtenidos muestran la capacidad del modelo de simulación computacional de reproducir resultados con un error mínimo en relación al sistema real.

En la Fig. 3, se puede observar el tiempo de ejecución medido en segundos para la simulación considerando o no la productividad de los contenedores. Los resultados representan el promedio de cincuenta ejecuciones de la simulación, simulando cada una de ellas un total de 80 días, para los tamaños de entrada iniciales de la población de mosquitos de 300 a 50.000.



Fig. 3 Tiempo en segundos de la simulación considerando o no la productividad de los contenedores para 80 días de simulación.

Claramente se puede apreciar que el modelo escala con respecto al tamaño de entrada de la simulación. En el presente experimento, el análisis del modelo se ve limitado por la memoria de la GPU ya que el entorno (FlamGPU) realiza una pre-carga de los agentes en memoria al inicio de la simulación limitando a 50.000 individuos y 80 días de simulación la combinación para el hardware disponible. Con el fin de estimar el tiempo requerido para simular poblaciones más grandes, se ha utilizado un modelo de regresión lineal donde se representa el tiempo de ejecución en segundos de la simulación considerando o no la productividad de los contenedores, simulando un total de 80 días.

La Fig. 4, muestra el tiempo de ejecución medido (M) en segundos de la simulación para los tamaños de entrada que van de 300 a 50.000 mosquitos simulando 80 días, los modelos de tiempo obtenidos por regresión lineal para la simulación y los tiempos estimados (E) en segundos calculados con dichos modelos.

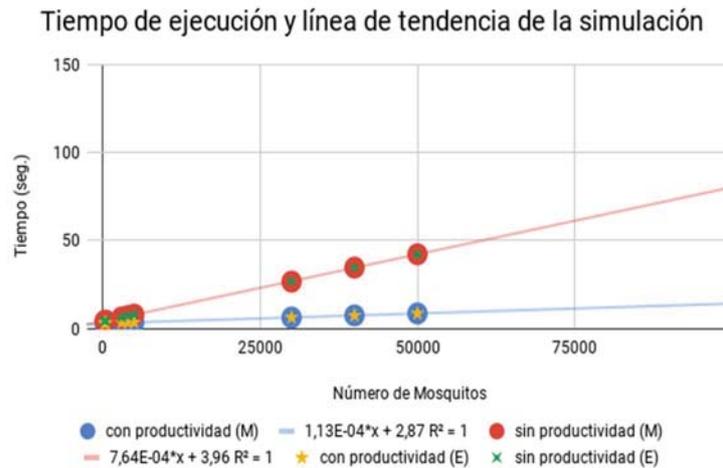


Fig. 4 Modelos de estimación de tiempo obtenidos por regresión lineal para la simulación considerando o no la productividad de los contenedores

El porcentaje de error mayor cometido al estimar con los modelos de tiempo de ejecución de la simulación (Fig. 4), fue de: 1,5%.

En la Fig. 5, se muestra cómo responde el modelo al cambiar la productividad de los contenedores con mayor productividad del sistema. Se escogieron los contenedores 1, 2 y 6. Manteniendo la población de 3000 mosquitos fija, simulando en todos los casos 100 días. Los resultados presentados son el promedio de los tiempos medidos en segundos (50 ejecuciones). Se clasificó a las combinaciones en cuatro casos posibles: Caso A, representa el tiempo de ejecución en segundos conservando el porcentaje de productividad original del sistema (20,45%, 36,36% y 19,70%, de manera respectiva para los contenedores 1, 2 y 6); Caso B, incrementando al 50,0% de productividad uno de los tres contenedores seleccionados, por lo que el Caso se subdivide en tres subcasos (Caso B-1: 50,0%, 36,36% y 19,70%, para los contenedores 1, 2 y 6, respectivamente; Caso B-2: 20,45%, 50,0% y 19,70%, contenedores 1, 2 y 6 respectivamente; y, Caso B-3: 20,70%, 36,36% y 50,0%, contenedores 1, 2 y 6 respectivamente); Caso C: combinación de dos de los tres contenedores con 50,0% de productividad (da como resultado tres subcasos: Caso C-1: 50,0%, 50,0% y 19,70%, para los contenedores 1, 2 y 6; Caso C-2: 50,0%, 36,36% y 50,0%, para los contenedores 1, 2 y 6 respectivamente; y, Caso C-3: 20,45%, 50,0% y 50,0%, para los contenedores 1, 2 y 6 respectivamente); y, Caso D: los tres contenedores con productividad al 50,0%.

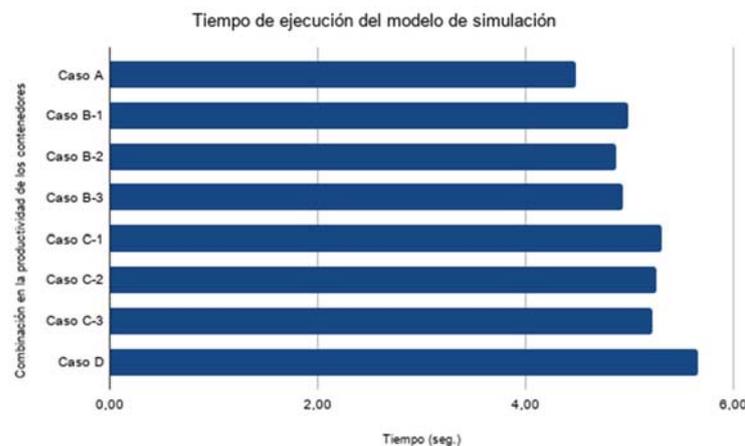


Fig. 5 Tiempo de ejecución medidos en segundos del modelo de simulación, incrementando el porcentaje de productividad de los contenedores 1, 2 y 6.

Se observa que el modelo se mantiene estable aún modificando las productividades de los contenedores.

Para comprobar si el modelo puede predecir la cantidad de pupas de *Aedes aegypti* se dividieron los datos de campo por año en dos conjuntos: uno para ajustar el modelo (2017) y otro para predecir la cantidad (2018) y ver la desviación con la realidad. Tomando los tipos de contenedores para los cuales se disponían datos en dos años

diferentes (2017 y 2018) de 7 contenedores diferentes (recipientes de plástico en general, floreros de plástico negro, recipientes de cemento, frascos cementados, recipientes de metal, recipientes de vidrio, macetas y recipientes de cerámica) se escogieron 4 contenedores (floreros plásticos negros, recipientes de metal, recipientes de vidrio y recipientes de cerámica).

Para ambos conjuntos de datos, se calculó el total de pupas de los cuatro recipientes que se tuvieron en cuenta para el siguiente experimento, obteniendo el porcentaje de productividad de los contenedores. Con los datos del año 2017 se configuró el modelo teniendo en cuenta sólo los cuatro contenedores mencionados (con sus respectivas productividades 2017) y después de realizada la simulación se volvió a validar para estos datos, obteniéndose una diferencia menor al 2% en todos los contenedores.

Posteriormente, se inicializó solo la población de mosquitos del modelo y se realizó la simulación para 100 días. De la comparación de los datos simulados, se calculó la diferencia entre el porcentaje de pupas obtenido y los datos reales siendo los resultados muy satisfactorios, observándose la mayor diferencia en el contenedor 4 (floreros de cerámica) de 3,39%, seguido por 0,80% en los contenedores 2 y 3 (recipientes de metal y vidrio respectivamente), y 0,09% para el contenedor 1 (floreros de plástico negro). En la Fig. 6, se presentan los porcentajes de productividad para los cuatro contenedores para el modelo propuesto, el sistema real (modelo de referencia) y el modelo con los datos del 2018 (Predicción 2018).

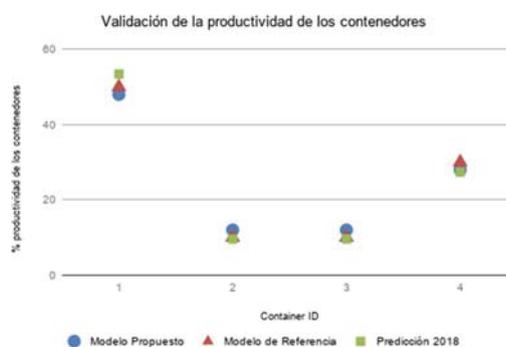


Fig. 6 Validación del porcentaje de productividad entre el modelo propuesto con el sistema real, y, la predicción con respecto a los datos de 2018.

Como se observa el modelo puede considerarse válido y capaz de simular situaciones de reproducción pupal para los ecosistemas considerados.

4 Conclusiones y Trabajos Futuros

El aumento de casos de dengue en las últimas décadas se ha convertido en una preocupación a nivel mundial. Su expansión se debe a la proliferación de la población de su vector transmisor: *Aedes aegypti*. La recomendación de la OMS es de vigilancia

y control de la población del mosquito como solución para la erradicación de las enfermedades infecciosas.

La diversidad de recipientes que utiliza para su reproducción varía según los hábitos de los residentes de cada zona, y las características particulares del vector que allí se desarrolla. La identificación de los recipientes más productivos es la acción principal para lograr el control de la población del vector y la disminución del foco infeccioso. Una herramienta de simulación que facilite las tareas predicción y ayuda en la toma de decisiones del personal sanitario, acortando los tiempos de análisis y estudio de la información del vector sería de una ayuda inestimable.

El modelo desarrollado ejecutándose sobre GPU, muestra un excelente comportamiento desde el punto de vista de las altas prestaciones, así como también, en relación al sistema real. La obtención de resultados en tiempo de respuesta acotados es sumamente importante en problemas epidemiológicos, y la posibilidad de predecir, a partir de experiencias pasadas, el futuro, permite mejorar la toma de decisiones y llevar a cabo las acciones que se podrían traducir en la disminución del contagio de enfermedades infecciosas.

Como trabajos futuros se pueden mencionar: la adaptación del modelo a otras zonas de Argentina donde el riesgo de contagio también es crítico, la valoración del consumo energético del modelo y la visualización interactiva que lo transforme en una herramienta para la toma de decisiones y su posible migración al cloud a fin de que pueda ser utilizado como M&SaaS (Modeling & Simulation as a Service).

Referencias

1. Álvarez, E.M.C., Tórres, A.A., Tórres, A.A., Semper, G.A.I., Romeo, A.D.: Dengue, Chikungunya, virus del Zika. Determinantes sociales. Rev. Médica Electrónica, Año 2018, nro. 1 (2018)
2. Contigiani, M.S., Díaz, L.A., Spinsanti, L.I., Tauro, L.B.: Arbovirus. Proceedings de Jornadas Regionales sobre Mosquitos. Mar del Plata, Buenos, Aires, Argentina (2016)
3. Stein, M., Rossi, G.C., Almirón, W.R.: Distribución geográfica de Culicidae de Argentina. Proceedings de Jornadas Regionales sobre Mosquitos. Mar del Plata, Buenos, Aires, Argentina (2016)
4. Ginovart, M.: ¿Qué pueden ofrecer los modelos basados en agentes vivos en el contexto docente? Modelling in Science Education and Learning, Vol. 8 (2015)
5. Izquierdos-Espinosa, E.V.: Implementación de un modelo de agentes para estudiar la propagación del virus de la fiebre Chikungunya. Tesis de Master en Matemáticas Aplicadas. Quito, Ecuador (2016)
6. Borges, F., Gutierrez-Milla, A., Suppi, R., Lague, E., de Brito Arduino, M.: An Agent-Based Model for assessment for Aedes aegypti pupal productivity. Proceeding 2015 Winter Simulation Conference, pp. 159-170 (2015)
7. Montes de Oca, E., De Giusti, L., De Giusti, A., Naiouf, M.: Análisis de consumo energético en Cluster de GPU y MultiGPU en un problema de alta demanda computacional. Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Tantil, Buenos Aires, Argentina (2018)
8. Nvidia, Qué es GPU Computing?: <https://la.nvidia.com/object/what-is-gpu-computing-la.html> fecha de acceso mayo 2019
9. FLAME GPU Documentation: <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/flamegpu/latest/flamegpu.pdf>
10. Ruíz-López, F., González-Mazo, A., Vélez-Mira, A., Gómez, G.F., Zuleta, L., Uribe, S., Vélez-Bernal, I.D.: Presencia de Aedes (Stegomyia) aegypti (Linnaeus, 1762) y su infección

- natural con el virus del dengue en alturas no registradas para Colombia. *Biomédica*, vol. 36, nro. 2 (2016)
11. Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue> fecha de acceso mayo 2019
 12. Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/denguecontrol/mosquito/es/> fecha de acceso mayo 2019
 13. Albricou-Llinás, G., Chiappero, M.B., Rodán-Dueñas, J.C., Gardenal, C.N.: Reconstrucción de una invasión: pasado y presente de poblaciones de *Aedes (Stegomyia) aegypti* en Argentina. *Proceedings de Jornadas Regionales sobre Mosquitos*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina (2016)
 14. Gorodner, J.O.: Dengue, fiebre Zika y fiebre Chikungunya. *Patologías contaminantes y cambio climático en América*. *Rev. Asociación Médica Argentina*, Vol. 129, nro. 1 (2016)
 15. González-Escalona, M., Rojas-Izquierdo, M., Santos-Romero, A.I.: Vigilancia y lucha antivectorial en la enfermedad del dengue. Papel del profesional de la salud en la atención primaria. *Rev. Uruguya de Enfermería*, vol. 12, nro. 1, pp. 269-275 (2017)
 16. Vezzani, D.: El hábita del *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Buenos Aires para distintas escalas espaciales de estudio. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina (2003)
 17. De-Majo, M.S., Byttebier, B., Fischer, S.: Predisposición de los huevos de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) a eclosionar a bajas temperaturas: efectos de las condiciones ambientales de los meses previos. VIII Congreso Argentino de Entomología, Bariloche, Río Negro, Argentina (2012)
 18. Ngugi, H.M., Mutuku, F.M., Ndenga, B.A., Musunzaji, P.F., Mbakaya, J.O., Aswani, P., Irungu, M.W., Mukoko, D., Kitron, U., LaBeaud, A.D.: Characterization and productivity profiles of *Aedes aegypti* (L.) breeding habitats across rural and urban landscapes in western and coastal Kenya. *Rev. Parasites & Vectors*, vol. 10, nro. 1 (2017)
 19. Organización Mundial de la Salud: Dengue: guía para el diagnóstico, tratamiento, prevención y control. https://www.who.int/denguecontrol/resources/dengue_guidelines_2009/es/ (2009)
 20. Cromwell, E.A., Stoddard, S.T., Barker, C.M., Van Rie, A., Messeer, W.B., Meshnick, S.R., Morrison, A.C., Scott, T.W.: The relationship between entomological indicators of *Aedes aegypti* abundance and dengue virus infection. *PLoS Negl Trop Dis*, vol. 11, nro. 3 (2017)
 21. Montes de Oca, E., Suppi, R., De Gisuti, L., Naiouf, M.: Agent-Model Based on Flame GPU for assessing pupal productivity of the transmitting vector of *Aedes Aegypti* infectious diseases. Aceptado para publicar en *Proceedings de Modelling and Applied Simulation*, Lisboa, Portugal. 18-20 de Septiembre (2019)
 22. de Brito Arduino, M.: Assessment of *Aedes aegypti* Pupal Productivity during the Dengue Vector Control Program in a Costal Urban Centre of São Paulo State, Brazil. *Journal of Insects* Volume 2014, Article ID 301083, 9 pages.