

Proyecto Final Asignatura “Seminario Investigación II”

Simulación movimiento de peregrinos en la Meca

durante Tawaf usando Netlogo

Fausto Fabián Crespo Fernández^{1*}

¹ Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería-El Politécnico, Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá, Quito, Ecuador

*Autor para correspondencia, correo electrónico: crespofabian8012@gmail.com

Abstract:

Every year thousands of muslims gather in La Meca to pray and to perform Hajj(pilgrimage). As result of panic caused from sudden events, many people can be crushed from crowd stampedes. This work tries to simulate this situation using Agents Based Modelling in order to find the conditions that may cause this type of events.

Resumen:

Cada año miles de musulmanes se reúnen en la Meca para orar y realizar el Hajj (peregrinación) .Como resultado del pánico causado por eventos repentinos, muchas personas pueden ser aplastadas por estampidas de la multitud. Este trabajo pretende simular la situación antes mencionada usando Modelación Basada en Agentes para encontrar las condiciones que pueden provocar este tipo de eventos.

1 Introducción

En los últimos años ha cobrado gran importancia el estudio de la dinámica de las multitudes y en especial la evacuación de personas confinadas en un recinto. El aumento de la población mundial, y la capacidad de los medios de transporte de llevar un gran número de personas hacia un lugar específico, provoca un número creciente de aglomeraciones de personas en lugares cerrados: estadios, teatros, iglesias etc. Un ejemplo de lo anterior son las concentraciones anuales, durante el último tercio del mes de Ramadán, de peregrinos que realizan el Tawaf en la mezquita Masjid Al-Haram, en la Meca. El ritual islámico del Tawaf se realiza durante el peregrinaje Hajj, que es uno de los cinco pilares del Islam y debe

realizarse al menos una vez durante la vida de un musulmán. El ritual consiste en circunvalar siete veces la Kaabah (estructura rectangular central del patio del área Mataf de la mezquita) en sentido anti horario. Durante el ritual o al final del mismo, muchos musulmanes tratan de acercarse lo más posible a la Kaaba para besarla y además hacer el ritual de “apedrear al Diablo”. Esta área es la zona de mayor congestión llegando a tener una densidad de más de 6 personas por metro cuadrados [1] y aproximadamente unos 5000 peregrinos ingresando por hora [2]. El profesor Dr. Keith Still que ha trabajado durante diez años en modelación de dinámica de peatones en Arabia Saudita y en 2008 colaboró con su

gobierno para el diseño de la mequita Al-Haram menciona en [3] que se ha alcanzado durante el Hajj o peregrinaje una densidad de 8 personas por metro cuadrado en la zona más cercana a la Kaabah y hasta 5200 peregrinos por hora. Esto ha provocado estampidas y muerte de personas en varias ocasiones. El Dr. Keith Still menciona que los peregrinos tienden a cercarse lo más posible a la Kaabah lo que provoca que se formen espirales que entran (por parte de las personas que están realizando el ritual) y espirales que salen (por personas que ya terminaron de hacerlo). Además se menciona que los peregrinos pueden ingresar por diferentes entradas lo que aumenta la congestión en el área.

Métodos

Existen varios métodos en la literatura para modelar el movimiento de peatones. Estos métodos se pueden dividir en dos grandes categorías: los microscópicos y los macroscópicos [4]. Los microscópicos tratan a los individuos como partículas sometidos a fuerzas físicas (con las otras partículas y con el entorno) y fuerzas psicológicas (las que tiene una persona al acercarse a otra y que hacen que regule su velocidad), entre estos modelos están los Modelos de Fuerzas Sociales (SFM por sus siglas en inglés), los autómatas celulares, los modelos de colas y los modelos de dinámica continua [4] [9]. En los modelos macroscópicos los individuos son tratados de manera homogénea omitiendo características individuales externas e internas como la masa, velocidad y posición. [13]. Estos métodos modelan el flujo de grandes multitudes pero tienen una alta demanda computacional. Además existen modelos como Evitación Colisión Recíproca Óptima (ORCA por sus siglas en inglés)[7] que sirve para evitar la colisión con objetos en movimiento o Obstáculos en Movimiento Recíprocos (RVO por sus siglas en inglés).

Varios de los modelos anteriores han sido usados para modelar el movimiento de los

peregrinos en la Meca: autómatas celulares [11][18], los Modelos Basados en Agentes (ABM por siglas en inglés)[12] [13], Sistemas de Soporte de Decisiones(DSS por sus siglas en inglés)(tesis doctoral en [14]), Dinámica de Fluidos Computacional(CFD por siglas en inglés)[16]. Máquinas de Estados Finitos (FSM por sus siglas en inglés) combinados con algoritmos ORCA [17].

Además se han usado diversos sistemas computacionales de simulación (específicos de peatones o generales) para el movimiento de peregrinos en la Meca como PedGo, SimWalk Pedestrian Dynamics, Any Logic y Netlogo. En el caso de Netlogo se usó para modelar el movimiento de peregrinos en el puente Al-Jamarat que conduce al área de Mataf donde realizan el Wataf [5].

La primera opción para este trabajo fue el uso del modelo de Fuerzas Sociales (FSM) donde entre cada par de peregrinos actúan fuerzas psicológicas, y físicas (fuerzas elásticas de Young, fuerzas tangenciales y fuerzas de repulsión) y similarmente con la relación entre las paredes y los agentes. Luego se usa un método numérico (por ejemplo el método de Euler) y un paso variable para resolver la ecuación diferencial de la segunda Ley de Newton para cada agente. Sin embargo debido a la complejidad del movimiento de los peregrinos en la Kaabah y la alta densidad de los mismos, el modelo implementado en Netlogo no arrojó los movimientos observados en la realidad.

Luego se implementó otro modelo en Netlogo mediante agentes para simular el movimiento de los peregrinos en el área de Mataf. Cada individuo se modela con un agente de forma circular que tiene su masa, velocidad, posición, número actual de vueltas, el ángulo de entrada a la circunvalación (respecto a la Kaabah) para contar las vueltas realizadas, si está realizando el ritual o no y si está saliendo o no (cuando termina las 7 vueltas debe hallar la forma de salir). Inicialmente se generan

aleatoriamente peregrinos que están circunvalando la Kaabah y otros en las entradas del patio del Mataf.

Los peregrinos siguen las siguientes reglas:

1-Si el peregrino no está circunvalando la Kaabah y no tiene ninguna de las 8 celdas vecinas ocupada por un peregrino que ya este circunvalando, escoge de las 8 celdas vecinas que no tenga ningún peregrino y que tenga la distancia a las paredes de la Kaabah mínima. (Esta regla es parecida a una de las reglas del modelo de autómatas celulares)

2-Si el peregrino no está circunvalando pero tienen en alguna de sus celdas de su cono de visión, peregrinos realizando la circunvalación y la celda que está delante de el (a distancia correspondiente a su velocidad actual) no tiene ningún otro peregrino, el peregrino entra al ritual de circunvalación con el número de vuelta actual 1 y se almacena el ángulo de entrada al ritual.(a partir de ese momento en cada paso se comprueba el ángulo actual y si ya es una vuelta completa, se actualiza el número de vueltas)

3-Si el peregrino está realizando el ritual de circunvalación pero en la órbita circular inmediata más cercana a la Kaabah hay una posición vacía y no hay peregrinos a la izquierda de esta posición vacía (no colisión) el peregrino pasa a la órbita más cercana a la Kaabah. En caso de que no pueda pasar a la órbita más cercana a la Kaabah el peregrino sigue haciendo el ritual por su órbita actual evitando las colisiones con los peregrinos en frente de él.

4-Si el peregrino termino las 7 vueltas, y existe una posición en la órbita inmediata más alejada de la Kaabah y ningún peregrino a la derecha de esta posición vacía en dicha orbita, el peregrino se aleja de la Kaabah. Si esto no es posible el peregrino sigue circunvalando normalmente evitando las colisiones con los peregrinos en frente de él.

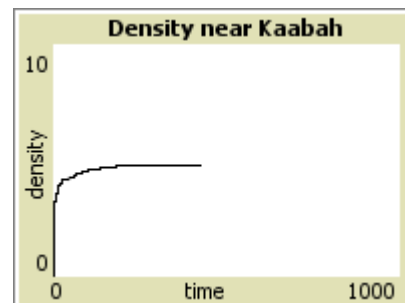
5- Si el peregrino ya completo las 7 vueltas y ya no tiene ningún peregrino haciendo el ritual en su cono de visión, se dirige hacia la salida más cercana.

6- En el caso que se active la alarma el peregrino trata de dirigirse hacia la salida más cercana.

Es de mencionar que en esta simulación se trata de evitar en lo posible las colisiones, pues no se modelo las posibles deformaciones de los agentes en zonas de alta densidad. Como recomendación se podría modelar dichas deformación elásticas de los agentes en zonas de alta densidad.

Resultados

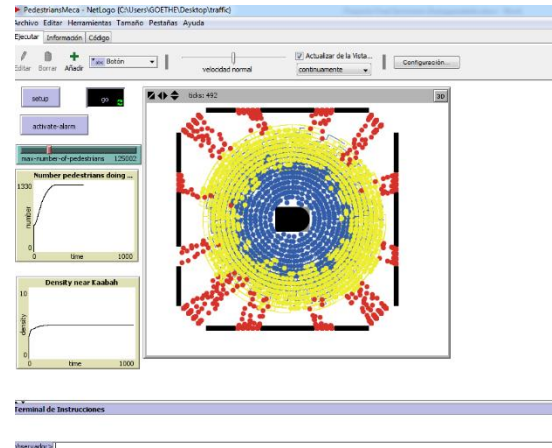
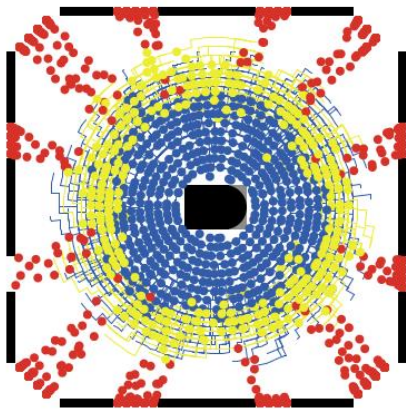
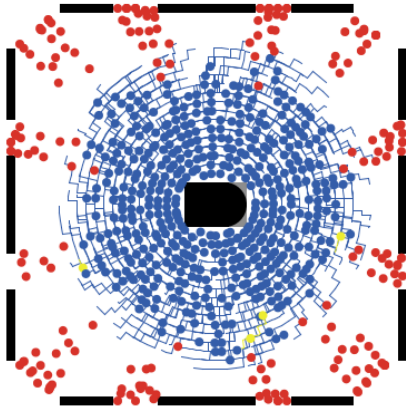
La actitud de los peregrinos de llegar lo más cercano a la Kabbah provoca que las densidades cerca de la Kaabah sea elevada, como lo refleja el siguiente gráfico,



Donde la densidad cerca de la Kaabah de los peregrinos realizando la circunvalación se acerca a 4.87 peregrinos por unidad de área. En este caso como no se modelo la deformación elástica de los peregrinos en la región e alta densidad de la Kaabah no se llega a las densidades observadas de 6 y más peregrinos por metro cuadrado.

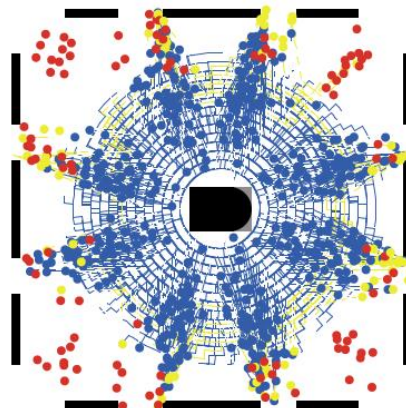
En el siguiente gráfico, donde los círculos rojos son los peregrinos que no están realizando el ritual de circunvalación, los azules los que sí lo están realizando y los amarillos los que entraron al patio y ya están realizando el ritual, se puede apreciar además los caminos de saltos discretos en forma de espiral, seguidos por los peregrinos en su

aproximación a la Kaabah. En el segundo grafico se muestra que es posible que los peregrinos que no estaban inicialmente circunvalando la Kaaba y que se generan en las entradas (en color rojo) y luego pasan a amarillo cuando comienzan a circunvalar, si pueden aproximarse a la Kaaba, pero a medida que la densidad cerca de la misma es mayor se hace mucho mas difícil.



Proceso de evacuación

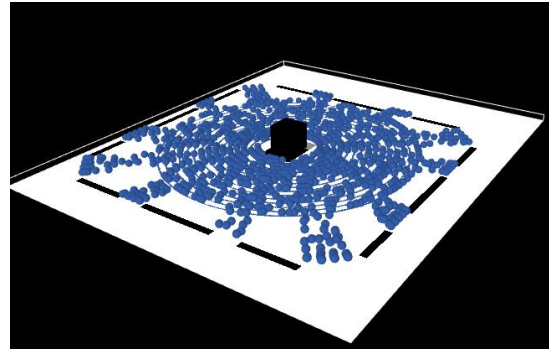
Cuando se activa la alarma se produce en proceso de evacuación que debido a las altas densidades en el área puede provocar posibles fatalidades y muertes. En el modelo de SFM se puede con facilidad modelar si un peregrino está herido o no, basta con que la fuerza resultante de las paredes y otros peregrinos es mayor que un umbral predeterminado. En este caso no se modelo las posibles heridas de los peregrinos pues se trató de evitar en los posible las colisiones, aunque en el proceso de evacuación se podría haber usado las deformaciones o solapamiento de los círculos asociados a los agentes y si esto es mayor que un umbral predeterminado calificar al peregrino como herido y poner su velocidad en cero y que entonces que sea un obstáculo para peregrinos que están tratando de evacuar detrás de el.



Conclusiones

Las altas densidades de peregrinos que se producen en la zona del patio del Mataf y la complejidad resultante de la combinación de los movimientos circulares con los diferentes propósitos de los peregrinos, hacen que la modelación del movimiento durante el Wataf sea complicada. Incluso con la inclusión de fuerzas físicas, los seres humanos no se comportan como partículas de un gas o un fluido y es necesario introducir fuerzas psicológicas no reales en la modelación. Muchas veces asumir ciertas reglas simples para el comportamiento de los agentes da resultados aceptables para estudiar cierto aspectos de la realidad. En la medida que se tomen en cuenta los aspectos esenciales en la

simulación se podrá modelar más realísticamente y evitar fatalidades en al Meca.



Referencias Bibliográficas

- [1] Kamareddine Abdul M., Hughes Roger L. 2011. Towards a mathematical model for stability in pedestrian flows.
- [2] Shuaibu., Faye, Malik , Simsim .2015 Simulation of Crowd Movement in Spiral pattern during Tawaf
- [3] <http://www.gkstill.com/CV/index.html>
- [4] Dridi Mohamed H. 2015. Simulation of high density pedestrian flow. A microscopic model
- [5] Qazi Mudassar Ilyas 2013. A Netlogo model for Ramy al-Jamarat in Hajj. King Faisal University, Saudi Arabia. Journal of Basic and Applied Scientific Research
- [6] Narain R., Golas A., Curtis S, Lin M. Aggregate Dynamics for dense crowd simulation . University of North Carolina at Chapel Hill.
- [7] Van den Berg J., Guy S., Ling M., Manocha D. Reciprocal n-body Collision avoidance. . University of North Carolina at Chapel Hill
- [8] Dijkstra J, Jessurun A. J, Timmerman H.J.P 2001. A Multi-agent cellular automata model for pedestrian movement. Eindhoven University of Technology
- [9] Helbing D. (2001) Traffic and related Self-driven Manyparticle Systems. Reviews of Modern Physics 73, 1067-1141
- <http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.73.1067>
- [10] <http://www.gkstill.com/CV/index.html>
- [11] Sarmady S., Haron, Zawawi. 2008. Multiagent simulation of circular pedestrian movements using cellular automata. School of Computer Sciences. University Sains Malaysia.
- [12] Sarmady, Halon, Tarib. Agent based simulation of crowd at the Tawaf area. School of Computer Sciences. University Sains Malaysia.
- [13] Hhamis, Semalat, Yusof. Simulation of agent movement with a path finding feature based on a modification of physical force approach, University Teknologi Malaysia
- [14] Kahan Imram. Phd thesis .2012. Hajj crowd management, discovering superior performance with Agent-Based Modelling and Queueing theory. University of Manitoba, Winnipeg, Canada.
- [15] Haghighati R., Hassan A. 2013 .Modelling the flow crowd during Tawaf at Masjid Al-Haram. University Teknologi Malaysia.
- [16] Janajrah M., BirkM. CFD Based numerical Study of pilgrims movements around Kaabah.
- [17] Curtis S., Guy S., Zafar, Manocha .Virtual Tawaf. A case study in simulating the behaviour of dense, heterogeneous crowds. University of North carolina at Chapel Hill
- [18] Sarmady, Haron, Talib. 2010. A cellular automata model for circular pedestrian movements during Tawaf. School of Computer Sciences. University Sains Malaysia.
- [19] Helbing D, Buzna L, Johansson A, Werner T. Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics .
- [20] Moussaid M., Helbing D., Theraulaz G.. 2011. How simple rules determine pedestrian behaviour and crowd dissaters.
- [21] Timmerman H.J.P.2009. Pedestrian Behaviour: Models, Data Collection and Applications .Technische Universiteit, Eindhoven, Holanda.
- [22] Schadschneider, A, Klingsch W., Klüpfel H. et al. Evacuation Dynamics: Empirical results . Modelling and Applications