

Simulación de una WSN Aplicada en Entornos Marinos

Juan Antonio Guerrero¹, Omar Álvarez Cárdenas², Luis Ángel García Morales³, Margarita Glenda Mayoral Baldivia⁴, Juan José Contreras Castillo⁵

Universidad de Colima, Facultad de Telemática, Av. Universidad # 333, Colima, Colima, México.
antonio_guerrero@ucol.mx, xe1aom@ucol.mx, lgmorales@ucol.mx, mglenda@ucol.mx, juancont@ucol.mx

RESUMEN

La monitorización de entornos marinos se ha convertido en una prioridad ya que las actividades de los humanos lo están destruyendo de forma gradual. En este trabajo se propone la simulación de una red de sensores inalámbrica (WSN, por sus siglas en inglés) que podría ser implementada en entornos marinos costeros. En específico, el artículo se centra en la capa MAC, evaluando el rendimiento de dos protocolos utilizados en este ámbito: TMAC y SMAC. La propuesta presenta y compara ambos protocolos con respecto a tres variables: paquetes recibidos, retardo y consumo de energía, para analizar su eficiencia con relación a confiabilidad, tiempo de respuesta y vida útil del nodo. Se utilizan dos escenarios para su evaluación: en el primero de ellos todos los nodos de la red son estáticos para evaluar el máximo desempeño que puede ser alcanzado por cada protocolo, mientras que en el segundo se añade a los nodos sensores movilidad que asemeja el comportamiento de las corrientes marinas para evaluar su desempeño en situaciones de cambio frecuente de topologías. En ambos casos todos los nodos envían sus datos a un único nodo de fusión a través de una estructura de red multisalto jerárquica. Los resultados obtenidos muestran un mejor desempeño del protocolo TMAC, garantizando un mejor tiempo de vida útil de los nodos, y mostrando un mejor rendimiento en cuanto a fiabilidad y tiempos de respuesta.

PALABRAS CLAVE: Simulación, WSN, TMAC, SMAC, entornos marinos.

ABSTRACT

Marine environments monitoring has become a priority since humans' activities are destroying it gradually. In this work we propose the simulation of a wireless sensor network (WSN) that could be implemented in coastal marine environments. Specifically, the paper focuses on the MAC layer, evaluating the performance of two protocols used in this field: TMAC and SMAC. The proposal presents and compares both protocols regarding three variables: received packets, delay and energy consumption, to analyze their efficiency in relation to reliability, response time and useful node life. Two

scenarios were used during this evaluation: in the first one, all the nodes in the network are static to evaluate the maximum performance that can be achieved by each protocol, while in the second, mobility sensors are added to the sensor nodes that resemble the behavior of marine currents to evaluate their performance in situations of frequent change of topologies. In both cases all the nodes send their data to a single SINK node through a hierarchical multi-hop network structure. The obtained results show a better performance of the TMAC protocol, guaranteeing a better life time of the nodes, and showing a better performance in terms of reliability and response times.

KEYWORDS: Simulation, WSN, TMAC, SMAC, marine environments.

INTRODUCCIÓN

Recientes avances en las tecnologías de recolección de datos, microelectrónica y transmisión por radiofrecuencia han permitido el auge de las redes inalámbricas de sensores o WSN (del inglés Wireless Sensor Networks) [1]. Estas redes se componen de numerosos dispositivos autónomos de tamaño pequeño, bajo consumos energéticos y capaces de una comunicación sin cables, distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para monitorizar y/o controlar diversas condiciones en distintos puntos geográficos. Están conformados por un microcontrolador, una fuente de energía, un radio transceptor y elementos sensores [2]. Generalmente, los nodos se interconectan entre sí para alcanzar el sistema central encargado de recopilar los datos recogidos por cada uno de los sensores [3].

Estas WSN se utilizan en la obtención de datos de diversos entornos, como el agrícola [4], el vehicular [5-7], la salud [8] o el marino [9], por mencionar algunos. El entorno marino según [10] se ha convertido en un área de interés científico desde hace ya varios años y en particular las zonas marinas debido a que los sistemas marinos costeros son vulnerables a la influencia de la actividad humana debido principalmente al desarrollo industrial, turístico y urbanístico. Es por ello que estas aguas se convierten en objetivos primordiales en el ámbito de la investigación. De este modo, surge la necesidad de crear sistemas de observación costeros (SOC), tanto in situ como remotos, que permitan llevar a cabo este tipo de estudios. Entre los tipos de SOC (buque oceanográfico, radar costero HF, planeadores submarinos, plataformas lagrangianas, entre otros), las WSN constituyen una alternativa de elección muy oportuna, pues en estos casos se desea recoger datos de múltiples ubicaciones y su uso permite el despliegue de un gran número de dispositivos sensores de bajo costo que forman una red inalámbrica robusta, escalable y adaptable a los cambios en el entorno o en su topología [10].

Sin embargo, el diseño, implementación y despliegue de una WSN para aplicaciones oceanográficas implica resolver retos distintos a los que surgen en otros entornos, como el impacto del medio marino en la conectividad inalámbrica de los nodos. El movimiento de los nodos causado por las mareas, olas, corrientes, etc. representa un serio problema que afecta gravemente la calidad de la comunicación dentro de la WSN o el daño que pueden sufrir los sensores por factores externos (salinidad o corrosión). Aunado a esto, realizar pruebas en entornos reales, para un escenario que incluya decenas o incluso centenas de nodos, se vuelve un proceso significativamente más demandante, tanto en tiempo como en presupuesto, en comparación con llevar a cabo simulaciones. Las simulaciones proveen una manera más fácil y relativamente rápida de evaluar las propuestas [11].

En la presente investigación se plantea el análisis de un escenario que sirva como punto de partida para el diseño de una arquitectura de WSN aplicada a un entorno marino costero. El escenario se diseñó con base en la cantidad de boyas de deriva que la Facultad de Ciencias Marinas utiliza para realizar la medición en forma manual de la medición de variables marinas en la Bahía de Manzanillo. El objetivo es evaluar a través del uso de simulaciones el desempeño que tendría la aplicación de la tecnología para la recolección de datos de variables marinas en forma automatizada. Para la simulación se utilizó Castalia, un simulador de código abierto utilizado para evaluar redes inalámbricas de sensores [12]. Esta herramienta se ejecuta como módulo adicional sobre el simulador OMNET++. El objetivo de este primer trabajo es evaluar dos de los protocolos de capa MAC más usados para analizar su desempeño con respecto al tiempo de vida, el tiempo de respuesta y la fiabilidad del nodo.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Inicialmente se plantea un escenario con 26 nodos, de los cuales 25 cumplen con la tarea de recolección de datos y son colocados superficialmente y distribuidos en la región que se desea monitorizar. De estos un nodo actúa como el SINK (fusión) de la red y se encuentra en tierra, en un punto fijo. Las dimensiones del área a simular son: un rectángulo de 4 Km de largo x 2 Km de ancho. La distribución de los nodos en el área descrita se muestra en la figura 1. La separación entre nodos fue en promedio de alrededor de 400mts y una distancia de separación de los nodos más cercanos al nodo SINK de alrededor de 600mts.

El radio utilizado en la simulación es el modelo XBee-PRO 900, el cual es un módulo de RF (radio frecuencia) embebido de largo alcance (hasta 10 Km en exteriores con antenas de alta ganancia) de acuerdo a las especificaciones indicadas en [13]. Se consideraron dos casos para comparar dos protocolos de capa MAC utilizados ampliamente en WSN [14]: SMAC (Sensor-MAC) y TMAC (Time out MAC). Las configuraciones de ambos protocolos se definieron en el archivo omnetpp.ini de Castalia, uno en cada simulación; para mayor comprensión del funcionamiento en particular de Castalia ver [12]. Posteriormente las simulaciones de ambos casos se ejecutaron 10 veces con el fin de tener una mejor evaluación. El comando de ejecución fue el siguiente:

Castalia -c [General,Movilidad][SMAC,TMAC] -o resultados.txt -r 10



Figura 1: Distribución de los nodos en el escenario.

A continuación se describe detalladamente cada caso en particular:

Caso I

En el primer caso todos los nodos son estáticos y envían información al nodo SINK. Es importante señalar que todos los nodos envían los datos hacia el nodo SINK, con lo cual también se producen interferencias entre ellos al momento de enviar/recibir datos. El objetivo principal de este escenario es analizar el comportamiento de rendimiento que puede alcanzar la tecnología de comunicación utilizada cuando son nodos fijos con comunicación punto a punto. Luego poder identificar la degradación de desempeño que puede sufrir la tecnología en una situación de entorno marino. La distribución inicial de los nodos se muestra en la figura 1 y los parámetros generales de este escenario se indican en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros generales de la simulación.

Parámetro	Valor
Tiempo de Simulación	1000 seg
Paquetes x segundo	1
N° de Nodos	26
Tamaño del paquete	10 kBytes
Poder de Transmisión	17 dBm
Frecuencia	915 MHz
Protocolos MAC	SMAC y TMAC
Tiempo de sincronización MAC	30 seg
Uso de RTS/CTS	No
PathLoss Exponent	3.1
Distancia de referencia	100 mts
Solo Nodos Estáticos	No
Tamaño de la celda	100 m ²

Las variables a analizar para el primer escenario son: *consumo de energía*, *paquetes recibidos* en el *SINK* y el *retardo*.

Caso II

Para añadir la movilidad al escenario del caso 2 se crea en Castalia una nueva configuración en el archivo Omnetpp.ini, donde se definen los recorridos que seguirán los nodos que se desea sean móviles y el tipo de movimiento que llevarán a cabo (lineal, circular, aleatorio, etc.). Como modelo de movilidad se utilizó como base MassMobility, una clase de movilidad definida en OMNET que reproduce con bastante cercanía la movilidad de las boyas al liberarse al mar, además las corrientes de movimiento se generaron de forma aleatoria y se modificó la reproducción del movimiento vertical para simular el movimiento de las olas.

La distribución inicial de los nodos es la misma que en el primer escenario, siendo la principal variación que en éste se añade cierta “movilidad” a los nodos recolectores. Los parámetros generales de la simulación son los indicados en la tabla 1 y la figura 2 describe el movimiento que sigue cada uno de los nodos para este segundo escenario. Los nodos tenían una velocidad de desplazamiento de 2 m/s de acuerdo a lo especificado en los estudios realizados en la zona costera de Manzanillo [15-16].

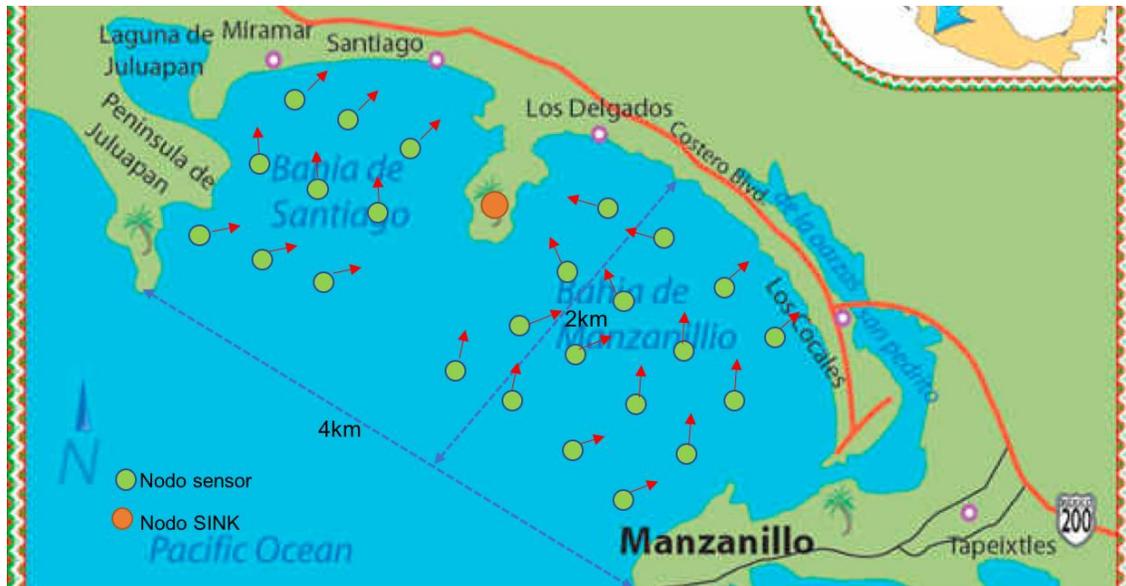


Figura 2: Escenario de simulación con movilidad.

Con esta variación se pretende comparar el comportamiento de los protocolos SMAC y TMAC cuando los nodos recolectores presentan algún tipo de movilidad. Se compara en cuanto a su desempeño considerando los parámetros de consumo de energía y paquetes recibidos en el SINK principalmente, dejando en segunda instancia el retardo de los paquetes. Los resultados se contrastarán con los obtenidos en el primer caso para observar el rendimiento de ambos protocolos y, de acuerdo a los resultados, elegir la mejor opción para etapas futuras de la investigación.

RESULTADOS

En la figura 3 se visualizan los resultados obtenidos al realizar ambas simulaciones y se comparan para analizar los protocolos y determinar su desempeño:

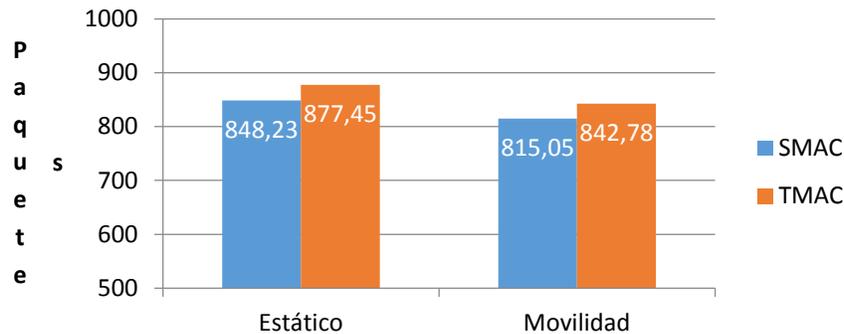


Figura 3: Promedio de paquetes recibidos en el SINK.

La figura 3 muestra el promedio de paquetes que fueron recibidos en el nodo SINK durante la simulación, con esta gráfica es posible apreciar un mejor rendimiento del protocolo TMAC para ambos casos simulados. En el modo estático, el protocolo TMAC presenta un desempeño mayor en un 3% con respecto a SMAC. Para el caso con movilidad la situación es muy similar, una mejoría cercana al 3% también; pero incluso el promedio de paquetes recibidos con TMAC casi iguala al de SMAC en su modo estático. A partir de esta gráfica es posible establecer la cantidad de paquetes perdidos. También, como puede observarse en la tabla 1, se envían 1000 paquetes por nodo durante la simulación. Por lo tanto, la diferencia entre este valor y el mostrado en la gráfica indica el promedio de paquetes perdidos, los cuales en ningún caso rebasan el 19%.

El retardo es otro de los parámetros de interés, la comparativa de sus resultados se observa en la figura 4. En esta imagen el eje Y representa los porcentajes del total de paquetes recibidos que tuvieron un retardo dentro de los intervalos representados en el eje X. A través de ésta se puede comparar la distribución del retardo utilizando ambos protocolos. En este caso resalta que para el caso TMAC la mayor concentración de porcentajes no rebasa el intervalo de 600-700 mseg. En SMAC se tiene un porcentaje de paquetes con retardos cercanos a un segundo (10%), que equivale aproximadamente el doble de los obtenidos en TMAC.

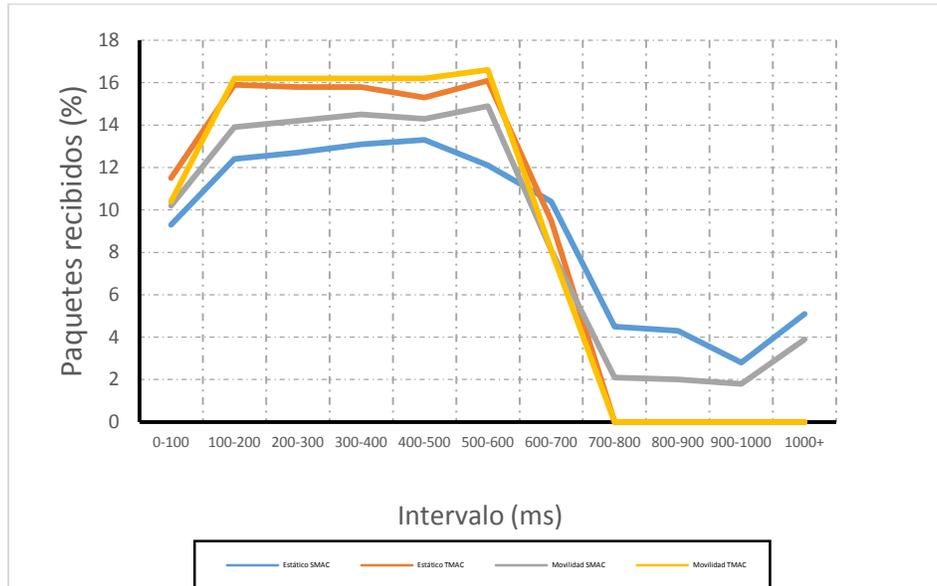


Figura 4: Retardo de los paquetes en la WSN.

Por último, en la figura 5 se observa el consumo de energía, el cual es el parámetro de mayor relevancia para la presente investigación ya que nos marcará el tiempo de vida que tendrá nuestro nodo en el entorno marino. Se aprecia que con TMAC se tiene un mejor rendimiento en cuanto al consumo energético en ambos casos, el cual es cercano al 13% para el caso de los nodos estáticos. El escenario con movilidad, la ventaja aumenta a un porcentaje cercano al 15%. Esto se debe al funcionamiento en particular de TMAC, el cual asigna tiempos de espera variables para detectar si el canal inalámbrico se encuentra disponible, adaptándose al estado de la red a diferencia de SMAC en donde los tiempos de espera son fijos.

A partir de las tres gráficas se puede inferir que utilizando el protocolo TMAC, se reduce el consumo energético promedio de la WSN, con lo cual se garantiza que los nodos aumentan su tiempo de vida útil, pero además mostrando un mejor rendimiento en cuanto a paquetes recibidos en el SINK con poco retardo. Los resultados son coherentes con los obtenidos en [8] con relación a la mejor eficiencia de TMAC sobre SMAC. Sin embargo, en la presente investigación se aporta el análisis de ambos protocolos en un escenario con movilidad, en el cual se demuestra la utilidad de TMAC para ser aplicado en el estudio de corrientes marinas.

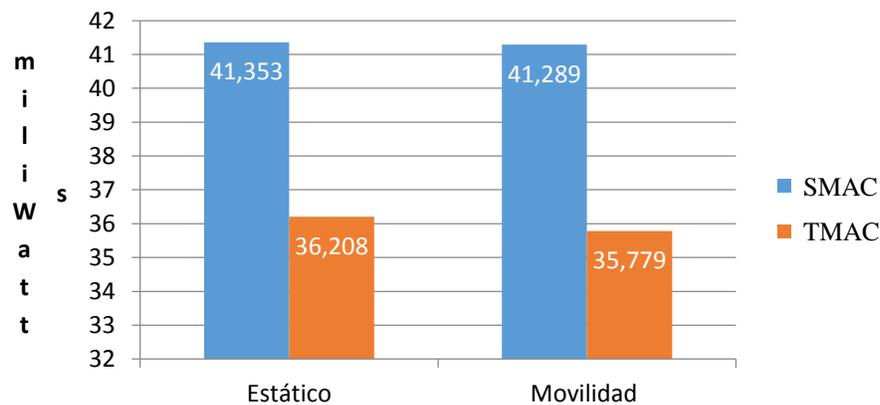


Figura 5: Consumo de energía promedio de la WSN.

CONCLUSIONES

A través del trabajo de investigación se logró comprobar que el protocolo TMAC ofrece un mejor rendimiento con respecto a SMAC en redes del tipo WSN, tanto en escenarios con nodos totalmente estáticos como en casos en los que algunos de los nodos son móviles. Esta eficiencia obtenida por TMAC fue con respecto a las variables de interés: paquetes recibidos, retardo y consumo de energía (el más importante para el enfoque del proyecto).

Otro aspecto de interés comprobado fue el funcionamiento del radio utilizado para la comunicación inalámbrica en la simulación. Debido a las distancias que se pudieran manejar en un entorno real (las cuales se intentaron plasmar en los escenarios definidos), el desempeño mostrado por éste es aceptable para poder iniciar pruebas en campo al cubrir con los requerimientos deseados. Como punto final, es importante mencionar que el presente trabajo marca la pauta a seguir para el desarrollo de un proyecto de mayores dimensiones, en el que se busca diseñar una arquitectura completa de WSN para aplicaciones en entornos marinos.

REFERENCIAS

- [1] Buratti, Chiara, y otros.: "An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution", 2009, Sensors, Vol. 9, págs. 6869-6896.
- [2] Niels, Aakvaag y Frey, Jan-Erik.: "Redes de sensores inalámbricos: Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial", 2006, Revista ABB.
- [3] Moñino Martínez, José Antonio.: "Aplicación del Modelado Específico de Dominio a las Redes de Sensores Inalámbricos", ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Cartagena, España : s.n., 2007. pág. 149, Tesis.
- [4] Guerrero-Ibáñez, J.A., Estrada-González, F., Medina-tejeda, M., Rivera-Gutierrez, M.G., Alcaraz-Aguirre, J.M., Maldonado-Mendoza, C., Toledo-Zuñiga, D., López-González, V. "SgreenH-IoT: Plataforma IoT para agricultura de precisión". Revista Iberoamericana de sistemas, cibernética e informática, vol 14(2), 2017.
- [5] Guerrero Ibáñez, J., Zeadally, Sh. & Contreras-Castillo, J. (2015). Integration challenges of Intelligent

- Transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and Internet of Things Technologies, *IEEE Wireless Communications*, vol 22, no. 6, pp. 122-128.
- [6] Contreras, J., Zeadally, S. and Guerrero-Ibanez, J. A. Internet of Vehicles: Architecture, Protocols, and Security. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1. doi: 10.1109/JIOT.2017.2690902.
- [7] Contreras-Castillo, J., Zeadally, S., & Guerrero-Ibañez, J. (2016). Solving VANET challenges with big data solutions. *IET Networks*, 5(4), 81–84. doi: 10.1049/iet-net.2016.0001
- [8] Guerrero, J.A., Cosío, M., Espinoza, A., Ruiz, E., Sánchez, J.D., Contreras, J., Nieto, J.I. (2017). GeoSoc: A Geocast-based Communication Protocol for Monitoring of Marine Environments, *IEEE Latin America Transactions*, 15(2), pp. 324-332.
- [9] Buenrostro-Mariscal, R., Cosio-León, M., Nieto-Hipólito, J., Guerrero- Ibañez, A. & Vazquez-Briseño, M. (2015). WSN-HaDaS: A cross´layer handoff management protocol for Wireless sensor networks, a practical approach to mobility, *IEICE Transaction Communications*, Vol e98-B, no. 7, pp. 1333-1344.
- [10] Albaladejo Pérez, Cristina.: "*PROPUESTA DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA PARA UN SISTEMA DE OBSERVACIÓN COSTERO*", Departamento de Tecnología Electrónica, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Cartagena : s.n., 2011. pág. 181, Tesis doctoral.
- [11] Stetsko, Andriy, Stehlík, Martin y Matyas, Vashek.: "*Calibrating and Comparing Simulators for Wireless Sensor Networks*", 2011. Eighth IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems. págs. 733-738.
- [12] Castalia.: "Castalia. Wireless Sensor Networks Simulator", 2011, [En línea]: <http://castalia.research.nicta.com.au/pdfs/Castalia%20-%20User%20Manual.pdf>.
- [13] Digi.: "Digi, your M2M expert. *XBee-PRO 900. Long-range RF connectivity using multipoint protocol*", 2013, [En línea]: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-pro-900#specs>.
- [14] Smriti, Joshi, Anant, Kr. Jaiswal y Pushpendra, Kr. Tyagi.: "*A Novel Analysis of TMAC and SMAC Protocol for Wireless Sensor Networks Using Castalia*", 2013, *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol. 2, págs. 128-131. ISSN: 2231-2307.
- [15] Torres-Orozco, Ernesto; Soltero-Delgado, Diana; Gutiérrez-De Velasco, Guillermo y Galicia-Pérez, Marco Antonio (2013). *DISPERSIÓN EN LA BAHÍA DE MANZANILLO, COL., MÉXICO*. ISBN: 978-607-7809-18-0. XX Congreso DGECYT. SEP.
- [16] Manuel Patiño Barragán, Marco A. Galicia Pérez. Juan Gaviño Rodríguez, Sonia Quijano Scheggia, Carlos Lezama Cervantes, Adrián Tintos Gómez (2013). Análisis de la altura máxima de ola generada por un evento hidrometeorológico para la región de Manzanillo, Colima. Congreso Organización Meteorológica Mexicana.