

# Supertrama de duración Variable en MAC 802.15.3 Utilizando MCTA Dinámicos

Guillermo Reggiani<sup>1</sup>, Omar Alimenti<sup>1,2</sup>, Ricardo Cayssials<sup>2</sup>, Eduardo Ferro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto Electrónica – Universidad Tecnológica Nacional – FRBB  
11 de Abril 461 – Bahía Blanca – Argentina

<sup>2</sup>Dpto de Ing. Eléctrica y Computadoras – Universidad Nac. del Sur  
Avda. Alem 1253 – Bahía Blanca – Argentina

ghreggiani@frbb.utn.edu.ar, iealimen@uns.edu.ar, {iecayss,ieferro}@criba.edu.ar

**Abstract.** The channel time allocation mechanism in 802.15.3 is determined according to the releases of the devices and managed by the controller of the piconet (PNC). In real time systems, the allocation of requests by CAP (contention access period) generates a non determinist effect of the use of the channel. On the other hand using MCTA's (management channel time allocation), exists one MCTA for device that wants to request a time of use of the channel. This work presents a variable superframe combined with an algorithm of channel time allocation by MCTA managed in dynamics form that improves response time of the devices.

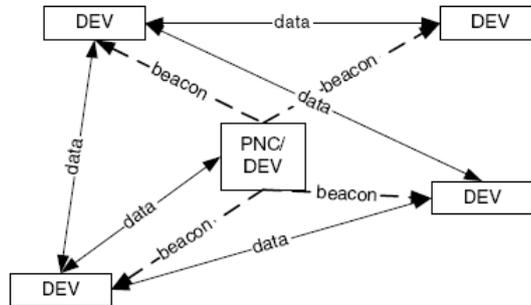
**Keywords:** Superframe, Wpan, Wireless Networks, Scheduling, Performance, Priorities, Unsaturated.

## 1 Introducción

El estándar 802.15.3 [1] especifica los requerimientos en la capa física (PHY) y el control de acceso a medio (MAC) en redes inalámbricas (“wireless”) de área personal (WPAN), que fueran capaces de transmitir datos a alta tasa de transferencia, de manera eficiente, con baja complejidad, bajo costo y mínimo consumo.

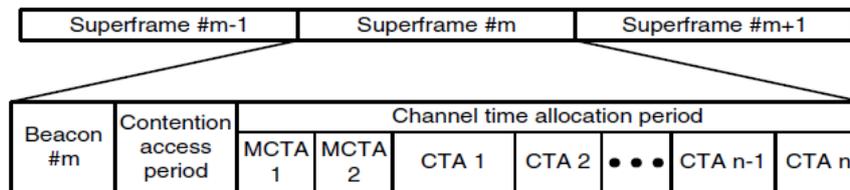
El estándar trabaja dentro de un sistema de comunicación inalámbrica de datos, denominado “piconet”, el cual permite que un número independiente de dispositivos (DEVs) se comuniquen unos con otros. Una piconet se diferencia de otros tipos de redes en que las comunicaciones son normalmente confinadas en un área pequeña alrededor de una persona u objeto que típicamente cubre al menos 10 metros en todas las direcciones.

Una piconet 802.15.3 consiste de varios componentes como se muestra en la Fig. 1. El componente básico es el DEV. Uno de los DEVs asume el rol del coordinador de la piconet (PNC). El PNC provee el temporizado básico para la piconet por medio de una trama especial denominada “Beacon”, así como también administra los requerimientos para la calidad de servicio (QoS), modos de ahorro de energía y control de acceso a la piconet.



**Fig. 1:** Estructura de una WPAN

El temporizado en este estándar se basa en una estructura denominada “supertrama” (SF). La estructura de la supertrama se muestra en la Fig. 2.



**Fig. 2.** Estructura de supertrama

El *Beacon* sirve para fijar las asignaciones de tiempo y para comunicar la información de administración dentro de la piconet. Los DEVs utilizan el *Período de Contención de Acceso* (CAP: Contention Access Period) para informar los requerimientos de uso del canal, el uso del CAP es opcional. El *Período de Asignación de Tiempo de Canal* (CTAP: Channel Time Allocation Period) está compuesto por asignaciones de tiempo de uso del canal (CTAs). Los CTAs se emplean para enviar comandos, cadenas isocronicas y conexiones de datos asincrónicos. La asignación de las ranuras de tiempo es uno de los puntos esenciales para un buen aprovechamiento del uso del canal. Además dentro de la estructura de la supertrama están los “administradores CTA” (MCTAs) que se utilizan para enviar pedidos de asignación de canal desde los DEVs al PNC entre otros. Los MCTAs son asignados por el PNC y utilizan un mecanismo de acceso al medio denominado “Slotted Aloha” (Fig. 2).

La longitud máxima de supertrama soportada por el estándar es 65535  $\mu$ seg y la longitud mínima es de 1mseg. La capa PHY soporta 5 tasas de transferencia 11, 22, 33, 44 y 55 Mbps.

El presente trabajo propone un modelo de asignación dinámica de los MCTAs en función de las solicitudes trabajando sobre una estructura de SF de duración variable de acuerdo a las tareas pendientes, con el fin de mejorar el tiempo de respuesta promedio de las tareas. El análisis se llevará a cabo bajo la disciplina de prioridades dinámicas en sistemas de tiempo real *menor tiempo al vencimiento* (EDF).

El trabajo se organiza como sigue: sección 2 provee una descripción de trabajos relacionados. En la sección 3 se realiza el análisis del cálculo de la duración de las supertramas con la asignación dinámica de los MCTAs. En la sección 4 se muestran los resultados de las evaluaciones efectuadas. En la sección 5 aparecen las conclusiones y en la última sección, las referencias

## 2 Trabajos Relacionados

Esta sección describe algunos trabajos relacionados con el tema propuesto.

En [6] se presenta un algoritmo dinámico de asignación de canal de tiempo que provee garantías en el retardo de tráfico multimedial como cadenas MPEG sobre redes IEEE 802.15.3 WPANs. Este algoritmo permite a los DEVs enviar al PNC, los requerimientos de tiempo de uso del canal al final de la supertrama, usando la estructura de mini-paquetes.

En [7] se mejora el algoritmo de diagramación con señalización de estado de flujo y decisión de bloque elegible. La señalización de estado de flujo se realiza usando paquetes de control (CTRL). Estos son enviados por los nodos al PNC solamente cuando es necesario actualizar la información interna de estado de flujo.

En [2] se propone un método de diagramación llamado Trafico Máximo (MT). El algoritmo MT garantiza que el total de datos transmitidos es máximo en cualquier punto del tiempo y las ranuras de tiempo necesarios para la transmisión son mínimas.

En [3] se analiza un nuevo algoritmo de formación de supertramas que provee ahorro de energía, tratamiento apropiado de tráfico CBR, gran utilización del canal, mejor tolerancia a errores y estabilidad. Se diseña un algoritmo de formación gradual de supertramas.

En [9] se analiza la asignación de canal de tiempo bajo distintos esquemas de prioridades en tiempo real, EDF y SRTP. Se trabaja sin modificaciones de la estructura de supertrama y la recolección de datos se realiza a través los MCTAs. Los resultados muestran que tamaño de supertrama es más conveniente para mejorar el tiempo de respuesta y la cantidad de tareas vencidas.

En [4] se muestra un algoritmo de formación de supertramas jerárquico, similar al propuesto en [3]. En éste se combinan las ventajas de los algoritmos de formación de supertramas estáticos y dinámicos.

En [10] se muestra que un generador de supertramas sobre esquemas EDF y SRPT, que maneje la duración de la misma en forma dinámica, logra un rendimiento óptimo del sistema para entornos saturados y no saturados, ya que evita la generación de supertramas ociosas o subocupados, obteniendo la mejor performance promedio para ambientes saturados.

La propuesta de [5] es permitir la comunicación entre dispositivos ad-hoc sin la intervención de cualquier entidad central y, al mismo tiempo, asegurar los límites de retardo para tráfico isocrónico.

En [11] se intenta demostrar que un generador de supertramas sobre esquemas EDF y SRPT, cuyas duraciones no sean fijas, sino que se adecue a las necesidades de los próximos dispositivos a utilizar el medio, logra el mejor rendimiento del sistema. Este esquema evita la generación de SF subocupados u ociosas.

En [8] se propone un simple y eficiente esquema de asignación de tiempo de canal llamado MES-ESRPT (MCTA al final de la supertrama- tiempo de procesamiento remanente más corto mejorado) para tráfico VBR con retardo sensitivo. En este algoritmo el PNC, asigna un MCTA para cada cadena de datos el cual los procesos de la comunicación se encuentran al final de la supertrama.

### 3 Análisis y Cálculo del Tamaño de SF

En los trabajos [10] y [11] se demostró que utilizando SFs de duración variable, en lugar de fijas, se mejora en forma notable los tiempos de respuesta y se disminuye la cantidad de paquetes perdidos. La generación de SFs se realiza asignando un MCTA por DEV en todas las SFs, esto implica un gasto innecesario de tiempo cuando no hay solicitudes pendientes de los dispositivos. El presente trabajo propone una estructura de supertrama de duración variable con una asignación dinámica de los MCTAs, es decir, en cada SF se asignarán únicamente los MCTAs correspondientes a los pedidos que se generen. Para determinar la duración de la supertrama, el PNC tiene en cuenta el Beacon, los MCTAs, los CTAs y la posibilidad de agregarle un tiempo adicional (extensión) con el fin de mejorar el tiempo de respuesta.

#### 3.1 Condiciones de Análisis

El modelo de sistema para el análisis de esta red denomina *tarea* al flujo de datos a ser transmitido. La tarea de cada DEV tiene una generación sincrónica y estará parametrizada por tres valores: duración de la tarea (C), período de la tarea (T) y vencimiento de la tarea (D). C es tiempo de utilización del canal que requiere un DEV para enviar sus datos por la red, T es el período mínimo de generación de datos en el DEV y D es el plazo máximo de tiempo en el cual se debe transmitir los datos del DEV para cumplir con las condiciones de calidad del sistema.

Evaluaremos el tiempo de respuesta del estándar bajo la disciplina de prioridades dinámicas EDF “menor tiempo al vencimiento”, en entornos no saturados. EDF ejecuta primero aquella tarea que tenga menor tiempo al vencimiento, es decir menor D. Un entorno es no saturado cuando el factor de utilización es menor a la unidad.

#### 3.2 Mecanismo del Cálculo de las SFs

El PNC es el encargado de asignar el tiempo de uso del canal dentro de una supertrama. Este trabajo otorga al PNC la decisión de determinar la duración de la SF, calculando el tamaño de la próxima SF en base al tiempo de ejecución de las tareas (C) que tiene en cola y al tiempo de vencimiento de las mismas (D).

En el instante inicial, el PNC genera una supertrama que estará compuesta de la trama Beacon más las tramas MCTAs (una por cada nodo que realiza una solicitud). Los DEVs podrán enviar los requerimientos en sus correspondientes MCTAs. Una vez que el PNC reconoce los requerimientos, arma la supertrama SF, tal como se muestra en la Fig. 3.

B	"Channel Time Allocation Period"							
	MCTA 1	MCTA 2	****	MCTA n	CTA 1	CTA 2	CTA 3	****

**Fig. 3.** Supertrama armada con los requerimientos

Al finalizar cada supertrama, el PNC calcula el tamaño de la próxima en base a los requerimientos que les enviaron los DEVs a través de los MCTAs. Si no tiene pedidos en espera para ser atendidos enviará supertramas que contendrán el beacon hasta que aparezcan nuevas solicitudes. El tamaño de SF no podrá ser menor a 1mseg por especificación del estándar. El PNC realiza el cálculo del tamaño de la SF de la siguiente manera:

$$SF = B + \sum_{i=1}^j MCTA_i + \sum_{k=1}^l C_k \quad (1)$$

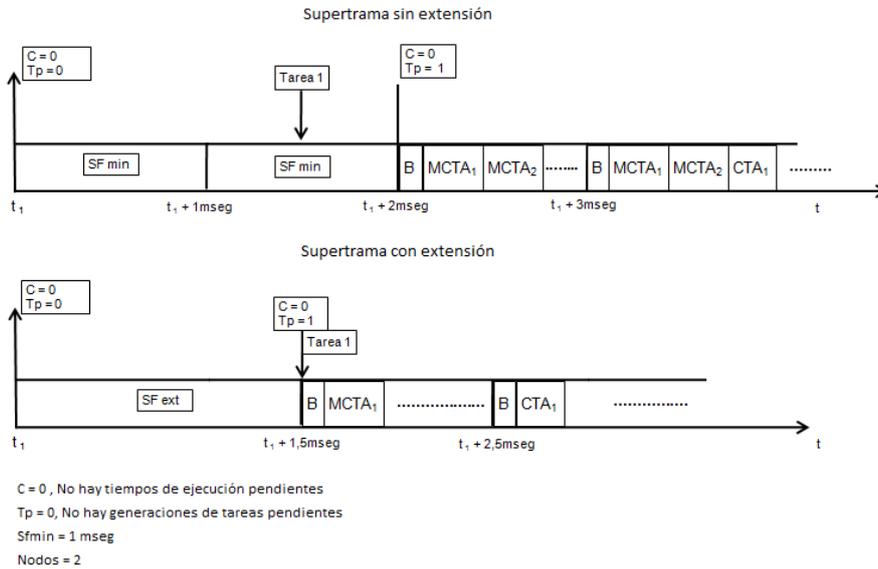
Como se indica en (1) se suma el beacon ( $B$ ), los  $MCTA_i$  correspondientes a las generaciones de las tareas ( $j$ ) y los tiempos de ejecución ( $C_k$ ) de las tareas pendientes ( $l$ ). Si la  $SF$  es mayor a 1mseg se suma  $SF$  al tiempo final de la supertrama actual ( $t_{factual}$ ) obteniendo el tiempo de finalización de la siguiente supertrama,  $t_{final}$ .

$$t_{final} = t_{factual} + SF \quad (2)$$

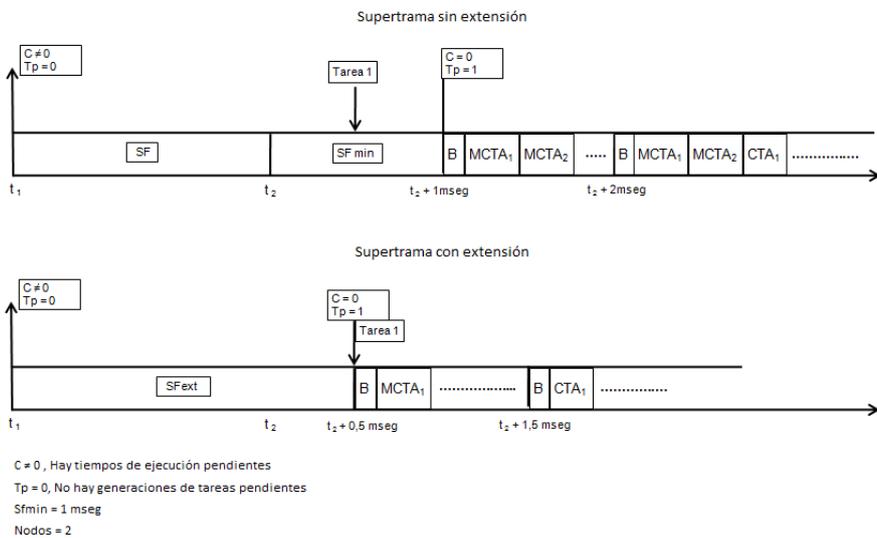
El PNC compara el  $t_{final}$  con el tiempo de generación más próximo del grupo de tareas, denominado  $t_{Pmin}$ . Si  $t_{final}$  es mayor que  $t_{Pmin}$  (y este a su vez mayor que  $t_{factual} + 1mseg$ ) se debe recalculer el tamaño de la  $SF$  como sigue:

$$SF = t_{Pmin} - t_{factual} \quad (3)$$

Para computar la extensión de la supertrama, evaluamos si existen generaciones pendientes ( $Tp$ ) y tareas pendientes de ejecución ( $C$ ). Cuando  $Tp = 0$  calculamos la  $SF$  aplicando (1) y (2). Luego buscamos dentro del próximo mseg posterior a  $t_{final}$  si existen generaciones de tareas. Si existen, extendemos la duración de la SF al tiempo de generación encontrado. Las mejoras en el tiempo de respuesta de la Tarea 1, se muestran en las Figs. 4 y 5.



**Fig. 4.** Ejemplo sin tiempos de ejecución pendientes ( $C=0$ )



**Fig. 5.** Ejemplo con tiempos de ejecución pendientes ( $C \neq 0$ )

Si  $Tp = 0$  y  $t_{final} < t_{pmin}$  la extensión de la SF se calcula como sigue:

$$SF_{ext} = SF + (t_{extf} - t_{final}) \quad (4)$$

Siendo  $SF_{ext}$ , la duración de la supertrama extendida y  $t_{extf}$  es el tiempo de generación más cercano al límite de  $t_{final} + 1mseg$ .

Si existen generaciones pendientes ( $Tp \neq 0$ ) no se procede a aplicar la extensión de la supertrama, dado que no asegura una ganancia en el tiempo de respuesta ni en los paquetes perdidos.

En la próxima sección se evaluará, mediante simulaciones, el rendimiento de las modificaciones propuestas para diferentes tráficos donde analizaremos los mismos bajo el esquema de prioridades EDF y compararemos entre los esquemas sin y con extensión de SF.

#### 4 Evaluación de Rendimiento

La evaluación del comportamiento de las propuestas del presente trabajo se realizó bajo la disciplina de prioridades EDF mediante simulaciones de distintos escenarios. En las simulaciones se consideran cuatro tipos de tráficos con generación sincrónica (C, T y D), para entornos no saturados. Las simulaciones se ejecutan a una tasa de transferencia de 55 Mbps con un tiempo de simulación de 100 seg.

Para evaluar la propuesta de este trabajo, se realizará una comparación con respecto al modelo de supertrama variable que asigna un MCTA por dispositivo conectado a la red. La mejora en el rendimiento sería más notable si la comparación se realizaría con el modelo de supertrama fija, donde se generan SF ociosas o subocupadas, desaprovechando aún más el ancho de banda disponible.

Los parámetros del sistema (C, T y D) de la primer simulación se muestran en la tabla 1, para una “piconet” fija compuesta por 5 nodos, con un factor de utilización de 0,89. La Fig. 6 muestra el tiempo de respuesta comparativo para simulaciones con extensión y sin extensión de SF para este escenario.

Tabla 1. Escenario N° 1

Nodos	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	3000	12000	12000
2	2000	15000	15000
3	3000	15000	15000
4	3000	21000	21000
5	4000	24000	24000

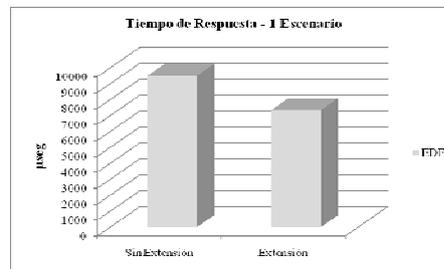


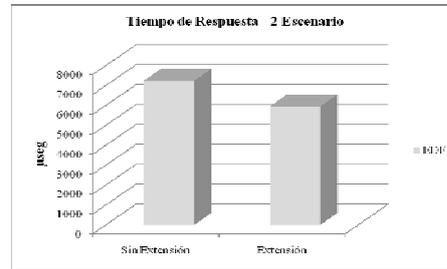
Fig. 6. Tiempo de respuesta de 1 Escenario

El tiempo de respuesta se tomó como el promedio de los tiempos de respuestas de los DEVs dentro de los 100 seg de tiempo de simulación. Se puede observar que con la propuesta de extender la duración de la SF y la asignación de los MCTAs por demanda, mejora el tiempo de respuesta en un factor de 0,22, esto se debe a que se aprovecha mejor el uso del canal.

Los parámetros del segundo escenario se muestran en la tabla 2 con un factor de utilización de 0,79. El tiempo de respuesta se observa en la Fig. 7, siendo las condiciones de la simulación las mismas que las del escenario anterior, obteniendo un factor de mejora de 0,18.

**Tabla 2.** Escenario N° 2

Nodos	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	2000	12000	12000
2	2000	15000	15000
3	3000	15000	15000
4	2500	20000	20000
5	4000	24000	24000



**Fig. 7.** Tiempo de respuesta

Las tablas 3 y 4 muestran los parámetros de los dos últimos escenarios y las Fig. 8 y 9, el tiempo de respuesta comparativo. Los valores de C y T del tercer escenario tienen un factor de utilización 0,71 y los del cuarto escenario de 0,6.

**Tabla 3.** Escenario N° 3

Nodos	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	2000	12000	12000
2	1500	15000	15000
3	2000	15000	15000
4	3000	21000	21000
5	4000	24000	24000



**Fig. 8.** Tiempo de respuesta

**Tabla 4.** Escenario N° 4

Nodos	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	2000	14000	14000
2	1500	18000	18000
3	2000	18000	18000
4	3000	22000	22000
5	3000	25000	25000



**Fig. 9.** Tiempo de respuesta

Los factores de mejoras observados en estos casos fueron de 0,2 y 0,25 respectivamente.

En todos los caso el número de tareas perdidas fue 0, pues el tipo de entorno es no saturado y tamaño de las SFs se ajusta dinámicamente a las necesidades de los dispositivos.

## 5 Conclusiones

El presente trabajo muestra la mejora obtenida en el tiempo de respuesta de los DEVs cuando se aplica una generación dinámica de MCTAs con una extensión de la supertrama, tal como fue mencionado en el punto 3.2.

Las simulaciones fueron realizadas para entornos no saturados.

La extensión de la supertrama permite disminuir la cantidad de tramas beacon, generando SFs de mayor longitud y a su vez logra que las solicitudes de las tareas se adquieran en el instante de su generación.

Los escenarios simulados tienen factores de utilización que van desde 0,9 a 0,6.

Las mejoras obtenidas en el tiempo de respuesta varían desde un 18% a un 25 %.

Puede observarse en el primer escenario un porcentaje mayor en la mejora del tiempo de respuesta con respecto al segundo y tercero, esto se debe a que con un factor de utilización cercano a la unidad la incidencia del tiempo de los MCTA, en el modelo de supertrama variable que asigna un MCTA por dispositivo, es más significativa que la extensión de la duración de la SF. No ocurre lo mismo en último escenario donde tenemos el menor factor de utilización, aquí la incidencia de la extensión de la duración de la SF es más significativa que la asignación de los MCTAs.

Futuros trabajos analizarán entornos saturados con aplicación de extensiones de distintos tamaños dependiendo las condiciones de entorno.

## Referencias

1. IEEE, Part 15.3 (2003) "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", IEEE std 802.15.3 – 2003, Sept. 2003.
2. Yi-Hsien Tseng, Eric Hsiao-kuang Wu, Gen-Huey Chen (2003) "Maximun Traffic Scheduling and Capacity Analysis for IEEE 802.15.3 High Data Rate Mac Protocol", In: IEEE VTC 2003-Fall, vol. 3, pp. 1678-1682, Oct. 2003.
3. Török A., Vajda L., Kyu-Jung Y., Sun-Do J.(2004) "Superframe formation algorithms in 802.15.3 networks", In: Proc., IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Atlanta, Georgia, USA, 2004.
4. Vajda L., Török A., Kyu-Jung Y., Sun-Do J.(2004), "Hierarchical superframe formation in 802.15.3 networks", In: Proc., IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, 2004.
5. Datta S., Seskar L., Dermirhan M., Mau S-C and Raychaudhuri D.(2005) "Ad-hoc Extensions to the 802.15.3 MAC Protocol", In: Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium WoWMoM '05.
6. Sun-Myeng Kim and Young-Jong Cho (2005) "Scheduling Scheme for providing QoS to Real-Time Multimedia Traffics in High-Rate Wireless PANs", In: IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1160. 4, NOVEMBER 2005.
7. Torok A., Vajda L., Vidacs A., Vida R.(2005) "Techniques to improve Scheduling Performance in IEEE 802.15.3 based ad hoc networks", In: IEEE GLOBECOM 2005 proceedings.
8. Liu Xin, Dai Qiong-hai, Wu Qiu-feng (2006) "Time allocation scheme in IEEE 802.15.3 TDMA mechanism", In: Journal of Zhejiang University SCIENCE A ISSN 1009-3095 (Print), ISSN 1862-1775 (Online).

9. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.(2007) “Análisis del Protocolo MAC de 802.15.3 bajo Esquemas de Prioridades en Tiempo Real”, In: XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computacion - CACIC 2007, Octubre 2007, Corrientes y Resistencia, Argentina.
10. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E. (2008) “Mejora del Rendimiento para Mac 802.15.3 en Entornos Saturados y no Saturados”, In: XXXIV Conferencia Latinoamericana en Informática – CLEI 2008, Setiembre 2008, Santa Fe, Argentina.
11. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.(2008) “Optimización del tamaño de Supertrama en forma dinámica bajo MAC 802.15.3”, In: XV Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Sistemas – INTERCON 2008 , Agsoto 2008, Trujillo, Perú.