

# Resumen

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) han experimentado un resurgimiento debido al desarrollo de la Internet de las Cosas (IoT). Una de las características de las aplicaciones de la IoT es la necesidad de hacer uso de dispositivos sensores y actuadores. En aplicaciones como automatización de edificios, de gestión energética, industriales o de salud, los nodos sensores que componen la WSN, transmiten información a un colector central o *sink*. La información es posteriormente procesada, analizada y utilizada para propósitos específicos. En cada una de estas aplicaciones, los dispositivos sensores pueden considerarse como parte de una WSN.

En ese sentido el modelado y la evaluación de las prestaciones en las WSN es importante, ya que permite obtener una visión más clara de su comportamiento, facilitando un adecuado diseño y una exitosa puesta en operación.

En el presente trabajo de tesis se han desarrollado modelos matemáticos para evaluar las prestaciones de WSN, los cuales están basados en Cadenas de Markov en Tiempo Discreto (DTMC). Los parámetros de prestaciones elegidos para la evaluación son: energía consumida promedio, eficiencia energética, caudal cursado y retardo promedio de los paquetes. Los resultados que se han obtenido, han sido validados por medio de simulación basada en eventos discretos (DES).

Existen estudios de WSN en escenarios homogéneos, donde los nodos que componen la red inalámbrica son del mismo tipo y tienen las mismas características de operación. En estos análisis se definen WSN homogéneas

compuestas por un nodo central o sumidero (*sink*), que recibe la información de los nodos sensores localizados alrededor, formando una célula o *cluster*. Estos nodos realizan las transmisiones en SPT (*Single Packet Transmission*), enviando un solo paquete por ciclo de transmisión.

Sin embargo, es posible encontrar, más ahora con el desarrollo de la IoT, escenarios donde coexisten distintos tipos de nodos, con características diferentes y, por tanto, con requerimientos de operación específicos. Esto da lugar a la formación de *clusters* cuyos nodos tienen aplicaciones distintas, desigual consumo de energía, diversas tasas de transmisión de datos, e incluso diferentes prioridades de acceso al canal de transmisión. Este tipo de escenarios, que denominamos heterogéneos, forman parte de los escenarios estudiados en el presente trabajo de tesis.

En una primera parte, se ha desarrollado un modelo para evaluar las prestaciones de una WSN heterogénea y con prioridades de acceso al medio. El modelado incluye un par de DTMC de dos dimensiones (2D-DTMC) cada una, cuya solución en términos de la distribución de probabilidad estacionaria, es utilizada para determinar los parámetros de prestaciones. Se desarrollan, por tanto, expresiones cerradas para los parámetros de prestaciones, en función de la distribución estacionaria que se ha obtenido a partir de la solución de las 2D-DTMC.

En una segunda parte, se desarrolla un modelo analítico también pensado para escenarios heterogéneos y con prioridades, pero en el que los nodos de la WSN, cuando consiguen acceso al canal, transmiten un conjunto de paquetes en vez de uno solo como en el modelo de la primera parte. Estos dos modos de operación de los sensores los denominamos *aggregated packet transmission* (APT) y *single packet transmission* (SPT), respectivamente. El número de paquetes que un nodo funcionando en APT trasmite cuando accede al canal es el menor entre un parámetro configurable y el número de paquetes que tuviera en la cola en ese momento. Este modo de operación consigue una mayor eficiencia energética y un aumento en el caudal cursado, además de una disminución en el retardo promedio de los paquetes.

En una tercera parte, se propone un nuevo procedimiento analítico para la determinación del consumo energético de los nodos que conforman una WSN. A diferencia de los métodos de cálculo anteriores, la nueva propuesta permite obtener resultados más precisos, y al mismo tiempo, permite obtener expresiones más intuitivas y sistemáticas. Con este nuevo procedimiento, se realizan estudios energéticos para WSN en escenarios homogéneos y heterogéneos.