



**DOI:** 10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.390-402

**URL:** <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1121>

**EDITORIAL:** Saberes del Conocimiento

**REVISTA:** RECIAMUC

**ISSN:** 2588-0748

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Artículo de revisión

**CÓDIGO UNESCO:** 3310 Tecnología Industrial

**PAGINAS:** 390-402



## Análisis comparativo de protocolos de enrutamientos aplicados en WSN utilizadas en ambientes industriales

Comparative analysis of routing protocols applied in WSN used in industrial environments

Análise comparativa de protocolos de roteamento aplicados em RSSFs utilizadas em ambientes industriais

**Ximena Fabiola Trujillo Borja<sup>1</sup>; Mario Alfredo Sánchez Delgado<sup>2</sup>; Michael Jordy Ávalos Gómez<sup>3</sup>; Neiser Stalin Ortiz Mosquera<sup>4</sup>**

**RECIBIDO:** 23/02/2023 **ACEPTADO:** 12/03/2023 **PUBLICADO:** 15/05/2023

1. Magíster en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones; Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; ximena.trujillob@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0000-1389-4910>
2. Magíster en Administración de Empresas; Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa; Diploma Superior en Diseño Curricular por Competencias; Ingeniero Comercial; Analista de Sistemas; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; mario.sanchezd@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-3490-4628>
3. Ingeniero en Telemática; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; jordy.avalos@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0004-7813-0734>
4. Magíster en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones; Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; neiser.ortizm@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-1051-6102>

### CORRESPONDENCIA

**Ximena Fabiola Trujillo Borja**

ximena.trujillob@ug.edu.ec

**Guayaquil, Ecuador**

## RESUMEN

Las redes de sensores inalámbricos han ganado un amplio campo de aplicaciones incluyendo a la industria 4.0 que se caracteriza por incorporar en sus procesos tecnologías como IoT, automatización, inteligencia artificial, análisis de datos, así las telecomunicaciones se incorporan como un eje transversal que permite mejorar los sistemas de comunicación en los ambientes industriales. El análisis comparativo presentado se realiza entre AODV, DSR, DSDV que son protocolos de enrutamiento que se pueden utilizar basados en los requerimientos de la calidad de servicio que debe cumplir una red, involucrando factores como el tiempo de retardo en la transmisión de paquetes, el ancho de banda, el rendimiento, la cantidad de nodos utilizados, la velocidad de transmisión. Se utilizó el software NS-2 para simular los escenarios que recreen el cambio del número de nodos, velocidad de transmisión y tamaño de bits en la conformación de los paquetes. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó la prueba anova con una hipótesis de similitud entre los tres protocolos, de los resultados se destaca que en cuanto al mayor rendimiento y el menor retardo los tres protocolos son similares, para el menor ancho de banda DSR y DSDV son similares descartando a AODV.

**Palabras clave:** Redes de Sensores, Industria 4.0, Protocolos de Enrutamiento, AODV, DSR, DSDV, ANOVA.

## ABSTRACT

Wireless sensor networks have gained a wide field of applications including industry 4.0 that is characterized by incorporating technologies such as IoT, automation, artificial intelligence, data analysis into its processes, thus telecommunications are incorporated as a transversal axis that allows improvement communication systems in industrial environments. The comparative analysis presented is carried out between AODV, DSR, DSDV, which are routing protocols that can be used based on the quality of service requirements that a network must meet, involving factors such as the delay time in packet transmission, the bandwidth, performance, number of nodes used, transmission speed. The NS-2 software was used to simulate the scenarios that recreate the change in the number of nodes, transmission speed and bit size in the packet conformation. For the statistical analysis of the data obtained, the anova test was used with a hypothesis of similarity between the three protocols, from the results it is highlighted that in terms of the highest performance and the lowest delay the three protocols are similar, for the lowest bandwidth DSR and DSDV are similar ruling out AODV.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Industry 4.0, Routing Protocols, AODV, DSR, DSDV, ANOVA.

## RESUMO

As redes de sensores sem fio ganharam um amplo campo de aplicações, incluindo a Indústria 4.0, que se caracteriza por incorporar tecnologias como IoT, automação, inteligência artificial, análise de dados em seus processos, assim as telecomunicações são incorporadas como um eixo transversal que permite melhorar os sistemas de comunicação em ambientes industriais. A análise comparativa apresentada é realizada entre AODV, DSR, DSDV que são protocolos de roteamento que podem ser utilizados com base nos requisitos da qualidade de serviço que uma rede deve atender, envolvendo fatores como o tempo de atraso na transmissão de pacotes, largura de banda, throughput, número de nós utilizados, velocidade de transmissão. O software NS-2 foi utilizado para simular cenários que recriam a alteração do número de nós, da velocidade de transmissão e do tamanho dos bits na conformação dos pacotes. Para a análise estatística dos dados obtidos, foi utilizado o teste anova com hipótese de similaridade entre os três protocolos. Os resultados mostram que para o maior throughput e o menor atraso os três protocolos são similares, para a menor largura de banda o DSR e o DSDV são similares, descartando o AODV.

**Palavras-chave:** Redes de Sensores, Indústria 4.0, Protocolos de Roteamento, AODV, DSR, DSDV, ANOVA.

## Introducción

Con el avance de la tecnología, la industria ha ido aprovechando los beneficios que esta puede ofrecer en los ámbitos de producción, control de procesos, reducción de tiempo, uso de recurso humano entre otros. Según (Ribeiro, 2022) la llegada de la industria 4.0 ha traído inquietudes en los colaboradores de las grandes industrias, mas no precisamente se debe ver como una afectación a los recursos humanos sino como una evolución del trabajo hacia una especialización de la interacción hombre – máquina, si bien se conoce que las tecnologías impulsadas por la industria 4.0 flexibilizan las labores, apoyan la autonomía de procesos y el desempeño laboral así como permiten la innovación en tareas repetitivas, no se puede dejar de lado la importancia que tiene la gestión del conocimiento como elemento fundamental para aprovechar las bondades de las nuevas tecnologías.

La llamada cuarta revolución industrial (Becerra, 2020) nacida en Alemania como una muestra de la incorporación de la automatización, digitalización, electrónica y comunicaciones en los procesos industriales ha generado nuevos espacios para el desarrollo en inteligencia artificial, minería de datos y tecnologías de comunicación conocidas como TICs las cuales se han convertido en un eje transversal en el desarrollo de la industria tanto en los medios guiados como no guiados, cada medio de transmisión se destaca por sus parámetros como: ancho de banda, tiempo de retardo, pérdida de paquetes, cobertura, consumo de energía, cantidad y tipo de información a transmitir. Por otro lado, es necesario conocer la forma en la que la información es enviada desde el transmisor hasta el receptor ya que, de esto dependen las ordenes a recibir durante el tiempo de funcionamiento de las diferentes fases en un entorno industrial.

Las industrias tienen procesos que se enmarcan en controlar valores o procesos de encendido, apagado, relleno, etc que re-

quieran de un monitoreo constante, es ahí donde nace la necesidad de establecer redes de comunicación robustas que permitan la conexión en escenarios complejos por las condiciones ambientales donde se desarrollan, dentro de las tecnologías que se plantean como apoyo a los procesos industriales se encuentran las redes de sensores inalámbricos que son una opción de fácil acceso que ayuda en el monitoreo de condiciones y permite alertar en caso de anomalías.

Un problema muy común antes de hacer uso de una red de sensores inalámbricos es el poco conocimiento del despliegue y consideración de ciertos parámetros para un funcionamiento óptimo, limitando el funcionamiento de las redes de sensores a la hora de distribuir los nodos en una determinada área, así como el consumo energético, la cantidad de dispositivos, la topología y los protocolos de enrutamiento a utilizarse estos últimos pueden afectar el rendimiento en la calidad de servicio (Quality of Service) (Ortiz & Manuel, 2011), (Eduardo F. Nakamura, 2007). Otras de las limitaciones surgen debido al reducido tamaño del procesador de datos que poseen ocasionando restricción en su capacidad de procesamiento, almacenamiento, alcance de transmisión, fuente de alimentación y métricas de calidad de servicio (A.Rustamov, 2012) Por los problemas mencionados el presente estudio de investigación pretende recomendar un diseño de red de sensores que tenga en cuenta los requerimientos de los usuarios, así como la calidad de servicio aplicable en un ambiente de industria 4.0

Para asegurar que una red de sensores funcione se requiere verificar en primera instancia que el diseño a utilizarse opere correctamente a través de simuladores (Chen G. B., 2005) como emuladores de red donde mediante escenarios se pueda realizar pruebas de rendimiento para mejoras de comunicación durante el desarrollo de las redes de sensores (Chen, 2004). Por otra parte, es necesario en el diseño de red que las topologías utilizadas sean eficientes para el esce-

nario planteado haciendo uso de algoritmos de enrutamiento que determinen las rutas con los caminos más cortos en la red, la agregación de nodos en sus tablas de enrutamiento y la resiliencia a fallas que puedan llegar a ocurrir en el despliegue (P. Pagano, 2007) (B. Paul, 2014) (B. Bhuyan, 2010)

Los algoritmos de enrutamiento se aplican según el servicio de comunicación, así en las redes de sensores inalámbricos sobre sale el uso de los protocolos reactivos AODV, DSR y el pro activo DSDV, los cuales se analizan en este trabajo para evaluar su uso dentro de ambientes industriales. Se establecen los parámetros que servirán para comparar el rendimiento teniendo de base los requisitos de calidad de servicio como: rendimiento, tiempo de retardo, paquetes perdidos, consumo de energía, ancho de banda, velocidad de transmisión, entre otros.

Ya en el ámbito industrial, nacen cuestiones sobre el número de sensores que se pueden utilizar en una determinada área, la cantidad de bits que se pueden agrupar en los paquetes de envío de información, la velocidad de transmisión, razones por las que se optó por establecer varios escenarios que permitan analizar el comportamiento de los parámetros seleccionados en relación al aumento de nodos, aumento de bits por paquetes y de velocidad de transmisión.

Los escenarios se presentan en un ambiente simulado con el software NS-2, los datos recolectados permiten determinar la relación entre estos protocolos y los parámetros seleccionados, busca así un escenario conveniente para instalarse en los espacios físicos de las industrias contribuyendo a su ingreso a la industria 4.0, recalcando que una red de telecomunicaciones no solo se orienta a su capa física, sino que se involucran otras capas como la de red que permite analizar la forma en la que los paquetes viajan, buscando siempre reducir el tiempo de traslado, el ancho de banda utilizado que pueden generar inconvenientes en la línea de producción.

## **Materiales y métodos**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo por la cantidad de datos que se recolectan producto de los escenarios planteados.

El análisis realizado trata de conocer el rendimiento de los protocolos de enrutamiento propuestos, AODV, DSDV, DSR que se evaluarán en una red WSN de pequeña y mediana escala por medio de simulaciones en el software NS-2, los datos generados se tabulan en una hoja de cálculo excel con extensión .csv para que el programa gnuplot pueda realizar gráficas y de esa manera observar con claridad el comportamiento de los protocolos en términos generales: promedio de entregas, caídas (Delivery ratio y Dropped ratio), throughput, y delay, para recomendar un escenario adecuado en ambientes de acceso limitado.

Se consideró una red de sensores inalámbricos, primero en una red de pequeña escala con nodos de 1 hasta 20 nodos, red de media escala de 21 a 40 nodos y de mayor escala de 41 en adelante, el área de la red que se plantea 200m x 200 m, el rendimiento que es la cantidad de transmisión de datos en un período de tiempo específico, el Normalized routing overhead (NRO) que es la relación entre el número de paquetes de enrutamiento y el número total de paquetes de datos recibidos, y por último el End to End Delay que es el retraso que tiene un paquete al salir del nodo origen y llegar al nodo destino.

Dado que existen varias tecnologías que pueden ser utilizadas en las redes de sensores, se seleccionó el estándar IEEE 802.11b por tener una infraestructura establecida en la mayoría de instalaciones de las industrias, se presenta en la tabla 1 los parámetros que se utilizaron en el planteamiento de los escenarios en el ambiente de simulación del software NS-2.

**Tabla 1.** Parámetros de la simulación de red en NS2

	Parámetros	Valor
Parámetros de red	Números de nodos	50/40/30/20/10
	Tipo de antena	Omnidireccional
	Protocolo de MAC	Mac/802_11
	Protocolos de routing	AODV, DSDV, DSR
	Modelo de propagación	Two Ray Ground
	Número de canales	1
	Tipo de cola	Queue/DropTail/PriQueue
	número de sink	1
Parámetros del paquete	energía inicial de modo	20J
	Número de paquetes	Ilimitado
	Tipos de tráfico de paquetes	CBR
Parámetros de comunicación	Rango de comunicación	200m
	velocidad de datos	1Mbps, 2Mbps, 45.5Mbps, 11Mbps
Parámetros del intervalo de transmisión	Intervalo del tiempo	20 us
	Longitud de la cola	50 packets
Parámetros de nodos	Potencia de transmisión	1.0
	Sensibilidad	-0,94 dBm
	Ganancia de antena tx	1.0 dB
	Ganancia de antena rx	1.0 dB
	Pérdida por trayectoria	1.0 dB
Tiempo de simulación		Max 503 segundos

Para el análisis de los resultados se han aplicado dos métodos, en el primero se organizaron los datos para realizar gráficas de tendencias que se puedan observar y comparar

los valores obtenidos, un segundo método de tipo estadístico con la prueba ANOVA que permita la prueba de hipótesis, en este caso la hipótesis planteada se refiere a la similitud

que existe entre los tres protocolos, en caso de aceptar la hipótesis se entenderá que los protocolos tienen un comportamiento que no muestra un cambio significativo entre uno u otro, por otra parte, si la hipótesis se reprueba se estaría ante la situación de que existe una diferencia entre los protocolos, lo que permitiría establecer una posible recomendación de uso del protocolo.

ANOVA (Análisis de la varianza) permite determinar si las diferencias en los valores medios entre tres o más grupos de variables son por casualidad o si son significativamente diferentes.

Cuando se utiliza ANOVA de dos vías, al considerar más factores, se puede explicar mejor la variación y se reduce la varianza del error.

Hay tres pares de hipótesis nulas ( $H_0$ ) o alternativas ( $H_1$ ) para el ANOVA bidireccional.

- $H_0$ : las medias de la primera variable son iguales
- $H_1$ : Por lo menos una de las medias de la primera variable es diferente
- $H_0$ : las medias de la segunda variable son iguales
- $H_1$ : Por lo menos una de las medias de la segunda variable es diferentes
- $H_0$ : no hay interacción entre la primera y la segunda variable
- $H_1$ : si hay interacción entre la primera y la segunda variable

Para emplear ANOVA se suponen las siguientes condiciones:

Las poblaciones analizadas siguen la distribución normal.

Las poblaciones analizadas tienen desviaciones estándar iguales.

Las poblaciones analizadas son independientes.

Ventajas:

- ANOVA permite gran flexibilidad, ya que se puede usar con cualquier número de variables y repeticiones, además puede variar el número de repeticiones de una variable a otra.
- El análisis estadístico es sencillo, aún si el número de repeticiones no es el mismo para cada variable.
- Permite comparar las medias de variables de forma simultánea evitando la acumulación del error tipo I (Rechazar la  $H_0$  hipótesis nula cuando esta es verdadera)

Para calcular ANOVA se necesita establecer:

Variación Total: Suma de las diferencias elevadas al cuadrado entre cada observación y la media global.

Variación de tratamientos (SST): Suma de las diferencias elevadas al cuadrado entre la media de cada tratamiento y la media total o global.

Variación aleatoria o de error (SSE): Suma de las diferencias elevadas al cuadrado entre cada observación y su media de tratamiento.

El número de tratamientos ( $k$ ) y el número de observaciones ( $n$ ) involucradas en el análisis.

El estadístico de prueba  $F$  es la razón entre el estimado de la varianza poblacional basado en las diferencias entre las medias muestrales, y el estimado de la varianza poblacional basado en la variación dentro de la muestra.

$$F = \frac{SST/(k - 1)}{SSE/(n - k)}$$

Si el estadístico de prueba  $F$  es mayor al valor crítico para  $F$ , se rechaza la hipótesis nula (no todas las medias poblacionales son iguales).

Si el valor  $p$  es menor al nivel de significancia establecido, se ratifica el rechazo de la hipótesis nula (no todas las medias poblacionales son iguales).

### Resultados y discusión

El rendimiento de los protocolos de enrutamiento propuestos, AODV, DSDV, DSR fueron evaluados en una red WSN de pequeña (20 nodos) y de mediana (50 nodos) escala. Se analizó el rendimiento de protocolos de enrutamiento con tamaño de paquetes de 512y 1024 bytes, con velocidades de 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps y 11Mbps; en las métricas principales que son: Packet Generated, Dropped Ratio, Delivery Ratio, throughput, Control Overhead (CO), Normalized Routing Overhead (NRO) y el End to End delay (E2E).

Para la presentación de resultados se seleccionó cuatro escenarios importantes, se realiza la prueba ANOVA para tres parámetros que se consideran esenciales dentro del rendimiento de una red inalámbrica de sensores: mayor rendimiento, menor ancho de banda y menor retardo.

Escenario 1: Se establece la tecnología IEEE 802.11b, con tamaño de paquete de 512 Bytes para una velocidad de 11Mbps.

**Tabla 2.** Datos de simulación del escenario 1

Protocolo	Número de nodos	Rendimiento (Kbps)	Ancho banda	Tiempo retardo
AODV	10	126.74	0	330.3
DSDV	10	161.92	0.01	256.3
DSR	10	162.15	0	251.9
AODV	20	106.68	0.56	177.4
DSDV	20	111.53	0.05	297.7
DSR	20	97.33	0.05	496
AODV	30	94.16	0.86	137.9
DSDV	30	103.24	0.11	150.5
DSR	30	84.77	0.32	333.7
AODV	40	73.66	1.12	165.7
DSDV	40	74.7	0.33	187.3
DSR	40	67.75	0.41	415.1
AODV	50	57.3	1.57	173.2
DSDV	50	64.2	0.55	190.1
DSR	50	62.84	0.66	423.8

Parámetro mayor rendimiento, aplicando un nivel de significancia 0.01.

**Tabla 3.** Rendimiento para escenario 1

Número de nodos	AODV	DSDV	DSR
10	126.74	161.92	162.15
20	106.68	111.53	97.33
30	94.16	103.24	84.77
40	73.66	74.7	67.75
50	57.3	64.2	62.84

Análisis de varianza

**Tabla 4.** Prueba anova escenario 1 rendimiento

Origen de las variaciones	F	Probabilidad Valor p	Valor crítico para F
Sensores	35.3469755	0.000039	7.00607662
Protocolos	1.69577552	0.243236	8.64911064

Como en los rendimientos, el valor de F (1.69) es menor que el valor crítico para F (8.65); y su valor p = 0.24 es mayor al nivel de significancia de 0.01 se acepta la H0 de que los rendimientos son similares en los 3 protocolos.

Parámetro menor ancho de banda, aplicando un nivel de significancia 0.01.

**Tabla 5.** Ancho de banda para escenario 1

	AODV	DSDV	DSR
10	0	0.02	0
20	1.12	0.07	0.17
30	1.47	0.16	0.54
40	1.99	0.47	0.81
50	2.85	0.9	1.22

Análisis de varianza

**Tabla 6.** Prueba anova escenario 1 ancho de banda

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad Valor p</i>	<i>Valor crítico para F</i>
sensores	7.60837401	0.007823207	7.00607662
protocolos	12.2592202	0.003663035	8.64911064

Como en los anchos de banda, el valor de  $F = 12.05$  es mayor que el valor crítico para  $F = 8.65$ ; y su valor  $p = 0.004$  es menor al nivel de significancia (0.01) se rechaza la  $H_0$  de que los anchos de banda son similares en los 3 protocolos.

Si el intervalo de confianza incluye el cero, no hay diferencia significativa en los protocolos analizados; por lo que se concluye que los protocolos DSDV y DSR tienen un ancho de banda similar y menor al ancho de banda del protocolo AODV. Se descarta por un mayor ancho de banda el protocolo AODV.

**Tabla 7.** Análisis comparativo del escenario 1

	Intervalos de Confianza		
AODV - DSDV	0.54089346	1.78310654	SI hay diferencia significativa
AODV - DSR	0.31689346	1.55910654	SI hay diferencia significativa
DSDV - DSR	-0.84510654	0.39710654	NO hay diferencia significativa

Parámetro menor tiempo de retardo, aplicando un nivel de significancia 0.01.

**Tabla 8.** Retardo escenario 1

Número de nodos	AODV	DSDV	DSR
10	330.3	256.3	251.9
20	177.4	297.7	496
30	137.9	150.5	333.7
40	165.7	187.3	415.1
50	173.2	190.1	423.8

Análisis de varianza

**Tabla 9.** Prueba anova retardo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad Valor p</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Sensores	0.82810513	0.543060	7.006077
protocolos	8.28075691	0.011255	8.649111

Como en los tiempos de retardo, el valor de  $F = 8.28$  es menor que el valor crítico para  $F = 8.65$ ; y su valor  $p$  de  $0.011$  es mayor al nivel de significancia ( $0.01$ ) se acepta la  $H_0$  de que los tiempos de retardo son similares en los 3 protocolos.

Al estar descartado por el ancho de banda el protocolo AODV; se concluye que los protocolos DSDV y DSR son alternativas válidas ya que no hay diferencia significativa entre ambos.

Escenario 2: Para tener una mayor cantidad de elementos que permitan emitir un juicio de valor, se presenta el análisis para tamaño de paquete de 1024 Bytes bajo los mismos parámetros.

Parámetro mayor rendimiento en Kbps, aplicando un nivel de significancia  $0.01$ .

**Tabla 10.** Rendimiento escenario 2

Número de nodos	AODV	DSDV	DSR
10	168.25	217.37	218.26
20	139.21	152.54	118.39
30	124.42	138.77	107.98
40	92.44	102.7	94.88
50	55.37	85.72	83.32

Análisis de varianza

**Tabla 11.** Prueba anova rendimiento escenario 2

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad Valor p</i>	<i>Valor crítico para F</i>
sensores	28.9418898	0.000083	7.00607662
protocolos	2.93705849	0.110545	8.64911064

Como en los rendimientos, el valor de  $F = 2.93$  es menor que el valor crítico para  $F = 8.65$ ; y su valor  $p$  (0.11) es mayor al nivel de significancia (0.01) se acepta la  $H_0$  de que los rendimientos son similares en los 3 protocolos.

Parámetro ancho de banda, aplicando un nivel de significancia 0.01

**Tabla 12.** Ancho de banda escenario 2

Número de nodos	AODV	DSDV	DSR
10	0	0.02	0
20	1.12	0.07	0.17
30	1.47	0.16	0.54
40	1.99	0.47	0.81
50	2.85	0.9	1.22

Análisis de varianza

**Tabla 13.** Prueba anova ancho de banda escenario 2

Origen de las variaciones	F	Probabilidad Valor p	Valor crítico para F
sensores	7.60837401	0.007823207	7.00607662
protocolos	12.2592202	0.003663035	8.64911064

Como en los anchos de banda, el valor de  $F = 12.26$  es mayor que el valor crítico para  $F = 8.65$ ; y su valor  $p$  (0.004) es menor al nivel de significancia (0.01) se rechaza la  $H_0$  de que los anchos de banda son similares en los 3 protocolos.

Si el intervalo de confianza incluye el cero, NO hay diferencia significativa en los protocolos analizados; por lo que concluimos que los protocolos DSDV y DSR tienen un ancho de banda similar y menor al ancho de banda del protocolo AODV. Se descarta por un mayor ancho de banda el protocolo AODV.

**Tabla 14.** Prueba anova ancho de banda escenario 2

	Intervalos de Confianza		
AODV – DSDV	0.54089346	1.78310654	SI hay diferencia significativa
AODV – DSR	0.31689346	1.55910654	SI hay diferencia significativa
DSDV – DSR	-0.84510654	0.39710654	NO hay diferencia significativa

Parámetro menor tiempo de retardo, aplicando un nivel de significancia 0.01.

**Tabla 15.** Retardo escenario 2

	AODV	DSDV	DSR
10	502.5	394.7	367.2
20	190.8	389.2	589.5
30	151.6	160.9	393
40	197.1	210.8	476.1
50	207	199.1	488.5

Análisis de varianza

**Tabla 16.** Prueba anova retardo escenario 2

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad Valor p</i>	<i>Valor crítico para F</i>
sensores	1.49282456	0.291284	7.00607662
protocolos	5.91686802	0.026469	8.64911064

Como en los tiempos de retardo, el valor de  $F = 5.92$  es menor que el valor crítico para  $F = 8.65$ ; y su valor  $p$  (0.026) es mayor al nivel de significancia (0.01) se acepta la  $H_0$  de que los tiempos de retardo son similares en los 3 protocolos.

Al estar descartado por el ancho de banda el protocolo AODV; se concluye que los protocolos DSDV y DSR son alternativas válidas ya que no hay diferencia significativa entre ambos.

**Conclusión**

La industria 4.0 permite ampliar el campo de las telecomunicaciones dentro de las redes inalámbricas específicamente las de sensores que por su versatilidad se han vuelto necesarias cuando de recolectar datos se trata, sin embargo, se debe considerar sus limitaciones como el ancho de banda que utilizan, la cobertura que pueden alcanzar,

la cantidad de datos que requieren transmitir y el retardo que pueden experimentar. Además, en muchos casos los nodos de las redes son tratados como controladores es decir indican una acción a realizar en estos casos es de suma importancia que el retardo sea mínimo ya que cualquier demora podría interrumpir el normal funcionamiento de una industria.

Existe una amplia literatura en cuanto a los protocolos de enrutamiento que se pueden utilizar en las redes de sensores, mas, en este estudio se han recomendado AODV, DSR, DSDV, que se pueden simular en el software NS- 2 y permiten una apertura en los parámetros a comparar.

De los escenarios simulados y del análisis de los datos mediante la prueba de hipótesis anova, se puede indicar que AODV es el protocolo menos recomendable si el parámetro de decisión es el ancho de banda



ya que se determinó que este es mayor al de sus contendores. Por otra parte, cuando el parámetro crítico se el menor retardo o el mayor rendimiento los tres protocolos se encuentran en una posición similar, por lo que se podría utilizar cualquiera de ellos.

Las variaciones de los escenarios presentados, no muestran cambios significativos cuando se incrementa el número de nodos o la cantidad de bits colocados en los paquetes a transmitir.

Se considera que existen otros factores que también influyen en el desempeño de las redes de sensores sobre todo en ambientes de difícil ingreso donde el acceso a fuentes de energía es limitado, situación que no se ha revisado en este caso y que podría cambiar los resultados. Quedando abierta la necesidad de continuar con análisis de escenarios más complejos que pueden presentarse en las industrias que van ingresando a las TICs.

## Bibliografía

- A. Rustamov. (2012). Determination of QoS metrics in wireless sensor networks by using queuing theory. 6th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, 1-5.
- B. Bhuyan, H. S. (2010). Quality of Service (QoS) Provisions in Wireless Sensor Networks and Related Challenges. *Wireless Sensor Network*, 861-868.
- B. Paul, K. A. (2014). "Analysis of AOMDV, AODV, DSR, and DSDV Routing Protocols for Wireless Sensor Network". 014 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 364-369.

Becerra, L. Y. (2020). Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la educación en Ingeniería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, páginas 76-81.

Chen, D. &. (2004). QoS Support in Wireless Sensor Networks :A Survey. *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks ICWN 04*, 227 - 233.

Chen, G. B. (2005). Sense: A Wireless Sensor Network Simulator. *Advances in Pervasive Computing and Networking*.

Eduardo F. Nakamura, A. A. (2007). Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications. *Information fusion for wireless sensor networks*, <https://doi.org/10.1145/1267070.1267073>.

Ortiz, T., & Manuel, A. (2011). Técnicas de enrutamiento inteligente para rees de sensores inalámbricas. Obtenido de Repositorio RUIdeREA: <http://hdl.handle.net/10578/2263>

P. Pagano, P. B. (2007). A Framework for Modeling Operating System Mechanisms in the Simulation of Network Protocols for Real-Time Distributed Systems,. *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium*, 1-8,.

Ribeiro, V. B. (2022). Knowledge management and Industry 4.0: a critical analysis and future agenda. *Gestão & Produção*, 29 e5222, 17.



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.

## CITAR ESTE ARTICULO:

Trujillo Borja, X. F., Sánchez Delgado, M. A., Ávalos Gómez, M. J., & Ortiz Mosquera, N. S. (2023). Análisis comparativo de protocolos de enrutamientos aplicados en WSN utilizadas en ambientes industriales. *RECIAMUC*, 7(2), 390-402. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.390-402](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.390-402)