**--Comparativa entre casos de estudio**

En este apartado se realizará una comparación entre los cuatro casos de estudio presentados. Se dividirá en distintos apartados en función de la cantidad de sensores tenidos en cuenta. Se hará uso de distintas gráficas sobre la eficiencia para comparar los casos: 2D y cargas de las baterías iguales, 2D y cargas de las baterías distintas, 3D y cargas iguales y 3D y cargas distintas.

Dado que a lo largo de los casos de estudio se ha concluido que lo más conveniente es utilizar solo 1 cluster, no se presentarán las gráficas correspondientes a 2 clusters, 3 clusters ni clusters optimizados.

**---2 sensores**

En este apartado, se presentan las gráficas que comparan la eficiencia de los distintos casos de estudio cuando la cantidad de sensores es igual a 2.



Analizando esta gráfica, podemos extraer como conclusión que en caso de contar con 2 sensores, no existen diferencias significativas entre tipos de antena, ángulos en los que se desea radiar ni tipos de escenario. La eficiencia media obtenida en todos los escenarios es prácticamente la misma.

Algo que sí podemos afirmar viendo estas gráficas es que con tan solo usar 2 sensores, se puede conseguir que la vida de los sensores se prolongue. De este modo, podemos prolongar el tiempo de vida de una red con 2 sensores hasta 1.8 veces más usando el beamforming.

**-- 5 sensores**

A continuación, se realizará el mismo análisis que en el apartado anterior, pero para 5 sensores. Se muestran los resultados en la figura siguiente.



Viendo las gráficas, vemos que no importa el ángulo en el que se desea radiar ni el tipo de antena en lo que a eficiencia se refiere. Sin embargo, al contrario que en el apartado anterior (2 sensores), vemos que comienzan a apreciarse diferencias entre los distintos escenarios.

En aquellos en los que la carga de las baterías es distinta para cada sensor, la eficiencia media aumenta ligeramente. En la primera gráfica, podemos ver que cuando el escenario es el de 2D y carga igual para los sensores, la eficiencia media es de 4.095, mientras que para 2D y carga distinta para los sensores, la eficiencia media es de 4.477. Igual ocurre para 3D. Así pues, vemos que existe cierta diferencia entre los escenarios en los que la carga de la batería es distinta.

Finalmente, podemos decir que con 5 sensores se puede llegar a prolongar la vida de las baterías hasta 4.477 veces más que en redes con las mismas condiciones que no usen beamforming. Cabe destacar que en ninguna de las realizaciones se ha obtenido una eficiencia inferior a 1.

**--10 sensores**

En este apartado, se llevará a cabo el mismo estudio que en los dos apartados anteriores. En este caso, la cantidad de sensores será 10.



De nuevo, analizando las gráficas, cabe mencionar que apenas existe diferencia entre usar antenas isotrópicas o dipolo ni entre radiar en una dirección u otra. Con 5 sensores, las se apreciaban ligeras diferencias entre usar cargas iguales o cargas distintas para las baterías. Con 5 sensores, vemos que esta diferencia es más pronunciada.

En todas las gráficas vemos que cuando la carga de los sensores es distinta, la eficiencia es mayor que cuando la carga de los sensores es igual para todos. En el primer caso, por ejemplo, vemos que la diferencia entre el escenario de 3D y carga distinta (eficiencia media igual a 10.1) es muy superior al escenario de 2D y carga igual (6.5). Estas diferencias se mantienen en todos los casos.

Además, existen también diferencias entre escenarios en 2D y 3D. En todos los casos, los escenarios en 3D consiguen alcanzar una eficiencia mayor que los escenarios en 2D. En los apartados siguientes, veremos si este efecto se sigue dando.

Así pues, vemos que a medida que vamos aumentando el número de sensores, las diferencias que suponen las distintas cargas de batería van incrementando. En el apartado siguiente, podemos ver qué ocurrirá con 20 sensores.

Como conclusión a este apartado, con las condiciones de este escenario, se puede prolongar la vida de la batería hasta 10 veces más con respecto a los sensores que no usan beamforming.

**--20 sensores**

En este apartado, se estudiará la eficiencia para los distintos escenarios cuando la red presenta un total de 20 sensores.



Al igual que en los apartados anteriores, vemos que en ninguna de las realizaciones se obtiene una eficiencia inferior a 1. Además, no se aprecian diferencias entre usar una antena u otra o entre un ángulo de radiación u otro. Sin embargo, del mismo modo que con 10 sensores, sí que se aprecian diferencias destacables entre escenarios. En este caso, con 20 sensores, estas diferencias son aún mayores.

En la primera gráfica, por ejemplo, la eficiencia media alcanzada con cargas distintas y 3D es de 18.67, mientras que para cargas iguales y 2D la eficiencia ha sido de 8.62. Así pues, se observan diferencias muy significativas entre escenarios con carga fija o aleatoria, pero también entre casos en 2D y 3D. En los casos en 3D, la eficiencia es claramente mayor.

Como conclusión, con la tecnología estudiada en este proyecto, en redes con 20 sensores, la eficiencia media que podría alcanzarse sería de hasta 18.67.

**--50 sensores**

Por último, veremos las mismas gráficas presentadas en los apartados anteriores, pero en este caso para 50 sensores.



Como podemos observar, de nuevo se ha conseguido que la eficiencia supere la unidad en todas las realizaciones. No existe diferencia entre un tipo de antena y otra ni tampoco el ángulo en el que se desea radiar, lo cual es bastante positivo. Además, encontramos grandes diferencias entre escenarios, como el de la primera gráfica.

En ella, se tiene que la eficiencia media máxima alcanzada es para la carga aleatoria y 3D y es de 22.25, mientras que para 2D y carga igual para todos los sensores la eficiencia es de tan solo 7.75. También se observa el mismo efecto que en apartados anteriores: la eficiencia obtenida en 3D es mayor que la obtenida en 2D.

Finalmente, resta decir que con una red de 50 sensores también es posible conseguir el objetivo de nuestro proyecto, pues se llega a alcanzar una eficiencia media de 22.25, aumentando enormemente el tiempo de vida de las baterías de los sensores.

**--Conclusión**

Para concluir con la comparativa entre los distintos casos de estudio, se presentará una última gráfica en la que se muestre la media en función de la cantidad de sensores. Dicha media se ha calculado a partir de las realizaciones de los distintos ángulos de radiación y los distintos tipos de antena, para una misma cantidad de sensores. A continuación, se muestra el resultado.



Observando las gráficas, podemos ver que todos los puntos se encuentran por encima de la línea que representa la eficiencia unidad. Esto significa que en todos los casos de estudio básicos que hemos analizado hasta ahora se consigue el objetivo perseguido en el proyecto: conseguir que la vida de los sensores sea superior a la de los sensores que no usan beamforming. De este modo, se consigue superar la barrera de que cada sensor deba transmitir dura un tiempo *X*·*T*, tiempo que aumenta a medida que aumenta la cantidad de sensores (*X*). Recordemos que los sensores que no usan beamforming solo transmiten durante un tiempo *T*. También se supera la barrera que supone el tiempo de sincronismo entre los sensores, que también aumenta conforme aumentan los sensores de la red.

En los dos casos de estudio en 2D, vemos que la eficiencia media para 50 sensores se reduce con respecto a la eficiencia con 20 sensores. Este efecto se estudiará con mayor profundidad en el apartado XXX\_CASOS\_NUEVOS.

Cabe destacar cómo aumenta la eficiencia a medida que aumenta la cantidad de sensores. Para 2 y 5 sensores, la eficiencia obtenida en los distintos escenarios es prácticamente la misma. Conforme se va aumentando el número de sensores, las gráficas comienzan a separarse significativamente.

Analizando la figura, vemos que las gráficas que representan los casos de estudio con carga de batería distinta para los sensores son las que más eficiencia obtienen. Esto es muy positivo, pues muy difícilmente en un caso real todos los sensores tendrían exactamente la misma carga de batería.

Además, las gráficas que representan los escenarios en tres dimensiones se encuentran por encima de las de los escenarios en dos dimensiones. Esto también es muy conveniente, pues en un caso real los sensores no se encuentran situados perfectamente en un plano, sino más bien en un espacio tridimensional.