

# Estudio de Funcionalidad de Tecnologías TIC Avanzadas para el Combatiente en Escenarios Operativos Reales

Pérez Peña, Santiago <sup>1,\*</sup>, Blázquez García, Rodrigo <sup>1</sup> y Burgos García, Mateo <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Observatorio Horizontes en Defensa y Seguridad. ISDEFE-UPM. Correos electrónicos: santiago.ppena@gmail.com (SPP), rodrigo.blazquez@upm.es (RBG)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid. Responsable del Observatorio. Horizontes en Defensa y Seguridad. ISDEFE-UPM. Correo electrónico: mateo@gmr.ssr.upm.es (MBG)

\* Autor Principal y responsable del trabajo: santiago.ppena@gmail.com (SPP)

---

**Abstract:** El observatorio Horizontes en Defensa y Seguridad tiene abierta una línea de prospectiva tecnológica en el ámbito de las tecnologías TIC para el combatiente, manteniendo una base de datos permanente con información actualizada de los últimos avances tecnológicos en dicho ámbito, con el foco puesto especialmente en centros de investigación y universidades europeas. Las tecnologías analizadas por el observatorio incluyen sistemas de comunicaciones para conciencia situacional, realidad aumentada, wearables, sistemas de alimentación (baterías), navegación en ausencia de GPS, monitorización de la salud física y estrés, inhibidores, sistemas de detección amigo-enemigo, etc. Los desarrolladores de estas tecnologías suelen presentar las capacidades de las mismas sin una perspectiva integrada en el conjunto de sistemas que porta el soldado. En este trabajo, se utiliza la extensa base de conocimiento del observatorio para diseñar despliegues optimizados para una determinada misión en un escenario hipotético de guerrilla urbana, con todos los condicionantes de un escenario actual, utilizando las tecnologías más avanzadas conocidas, que en muchos casos tienen niveles TRL bajos. El objetivo es evaluar sus capacidades reales de operar en un entorno hipotético, con condicionantes realistas (presencia de civiles, entorno desconocido, temperaturas extremas, equipamiento pesado,...) y de manera coordinada, así como detectar gaps o situaciones no perfectamente resueltas con el estado actual de la tecnología.

**Keywords:** Combatiente; entorno urbano; navegación; comunicaciones.

---

## 1. Introducción

En la mayoría de los países desarrollados, se están llevando a cabo programas de modernización de los ejércitos, con los que se pretende mejorar aquellas áreas tecnológicas que permitan al futuro combatiente completar y ejecutar las misiones asignadas en la eficacia de fuegos, mando y control, supervivencia, sostenimiento, movilidad, capacidad de entrenamiento y simulación. Fue EEUU el precursor de esta iniciativa con el programa Land Warrior [1], dividido en siete pilares: arma, casco, armadura y protecciones, ordenador, navegación, radio y sistemas software. Por su parte, España, desarrolló el programa COMFUT con el objetivo de mejorar su propuesta de soldado del futuro.

Para este estudio, se ha elaborado, en primera instancia, el estado del arte a través de un proceso de prospectiva tecnológica, ofreciendo una perspectiva general de los últimos avances relacionados con las diferentes tecnologías del combatiente. El estudio se centra en las tecnologías ligadas a las TICs. El proceso de prospectiva se cierra con la generación de escenarios basados en misiones donde se ponen a prueba los distintos avances tecnológicos disponibles. Este proceso de definición de escenarios constituye una herramienta de planificación estratégica que permite identificar situaciones que podrían ocurrir y desarrollar un protocolo de actuación para lograr el resultado deseado.

## 2. Tecnologías del combatiente del futuro

### 2.1. Redes de comunicaciones y NEC (*Network-enabled capability*)

Las redes y comunicaciones a través de radio IP en un entorno NEC serán fundamentales en los escenarios de guerra en el futuro. NEC tiene como objetivo desarrollar una capacidad cognitiva y técnica para organizar los diversos componentes operativos, desde el nivel estratégico hasta el nivel táctico, a través de una infraestructura de redes e información en el ámbito de las operaciones militares, de las que formará parte el Combatiente [2]. La seguridad, el encriptado y la robustez de las comunicaciones ante interferencias son los factores más críticos.

### 2.2. Interacción con plataformas no tripuladas

Los vehículos no tripulados son cada vez más importantes en redes tácticas, ya que están demostrando ser una plataforma extremadamente flexible para una variedad de aplicaciones, y es indudable que tendrán que interactuar con el Combatiente del Futuro en entornos de combate. Además, tanto los UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) como los UGVs (Unmanned Ground Vehicle) necesitan cooperar entre sí y con el combatiente con el fin de realizar tareas complejas de forma dinámica tales como la recopilación y procesamiento de la información y la conexión entre las partes desconectadas de la red. Sin embargo, la cooperación de estos vehículos en escenarios tácticos y entornos inciertos representa un reto importante tanto en aspectos de coordinación como de comunicación. A su vez, como los vehículos no tripulados interactúan con otras entidades, la coordinación efectiva de las operaciones de múltiples UAVs y UGVs requiere de apoyos en términos de protocolos de comunicación eficientes que aceleren los flujos de información [3].

### 2.3. Antenas

Para estos sistemas de antenas, no sólo deben considerarse las especificaciones tradicionales como son las pérdidas de retorno, el diagrama de radiación o la ganancia. Es necesario analizar otros requisitos como la tasa de absorción específica o la capacidad de mantener las propiedades de la antena cuando se dobla en ángulos diferentes [4] o cuando se encuentra en condiciones adversas de calor y humedad. Existen estudios que identifican la zona del cuerpo donde es más conveniente colocar la antena en función de la aplicación, como las que pueden colocarse a modo de anillo [5].

#### *2.4. Grafeno y OLED*

Materiales como el grafeno permiten desarrollar pantallas flexibles que supondrán una mejora en cuestiones de peso, autonomía e integración. Además, es un material precursor para el despliegue de la nueva generación de energías renovables [6]. Combinado con los diodos de las pantallas OLED (Organic Light-Emitting Diode) dotarán de mayor flexibilidad y ergonomía al equipo [7].

#### *2.5. Realidad Aumentada (AR)*

Los sistemas de realidad aumentada permiten la identificación visual de objetivos empleando indicadores según el nivel de amenaza. Utilizan una cámara 360° integrada que transmite la información completa del entorno del soldado hacia el puesto de mando y la pantalla de AR del combatiente. Los retos para la integración de AR son: la necesidad de utilizar un hardware pequeño, ligero y fácilmente portable pero suficientemente rápido operar en tiempo real; la precisión y resolución necesarias de los sensores que intervienen en el desarrollo de esta tecnología como GPS o cámaras; garantizar el seguimiento de los objetos en entornos de exteriores donde la latencia, el ruido y los errores de orientación son actualmente limitaciones importantes. Uno de los peligros más acusados de este tipo de tecnología es que la interfaz de usuario sobrecargue de información al soldado, provocando que pueda llegar a perder señales importantes que le ofrece el ambiente real [8].

#### *2.6. Navegación en ausencia de GPS*

Además de la información de GPS, para el Combatiente del Futuro deben contemplarse otros sistemas alternativos de posicionamiento, incluyendo sistemas autónomos para situaciones en las que la señal GPS no esté operativa o esté contramedida y, en especial, en el interior de edificios [9]. Los sistemas de posicionamiento sin GPS más avanzados son aquellos que trabajan con la localización en modo cooperación entre agentes en tiempo real, utilizando sensores inerciales donde los propios agentes generan una red de comunicaciones que garantiza la localización del resto de agentes [10].

#### *2.7. Supervisión del estado de salud*

Monitorizar los signos vitales de los soldados en entornos de combate es crucial en un contexto de toma de decisiones. Se está trabajando por establecer una infraestructura que permita la evaluación remota de los signos vitales de los soldados y la transferencia de resultados al centro de mando o al centro de apoyo médico. Este tipo de sistemas integra tanto los sensores que debería llevar el soldado como el proceso de envío de esta información hacia el punto donde se analiza [11]. También existe un interés creciente en cuantificar las distintas variables que generan estrés en el combatiente. De hecho, en España, desde el marco del programa COINCIDENTE, se llevan a cabo proyectos que permiten equipar al Combatiente del Futuro con sistemas de medición del estrés [12].

#### *2.8. Identificación Amigo-Enemigo*

Algunas soluciones para la categorización del objetivo, diferenciando entre amigo y enemigo, pasan por la integración de transmisores y receptores láser en el equipo del combatiente, de tal manera que se le permita al soldado realizar una consulta sobre el objetivo [13]. Existe otra visión más ambiciosa que se conoce como camuflaje térmico activo y que permite controlar la emisión de calor producida por el soldado para engañar al enemigo [14]. Sin embargo, debido al elevado peso de estos sistemas y a su demanda energética, no se han desarrollado todavía equipos portables.

### 2.9. Sistemas de detección de amenazas y de Guerra electrónica

Los sensores acústicos [15] y los espectrómetros portátiles en la banda de terahercios, son los sistemas con más proyección para la detección de disparos, armas y explosivos.

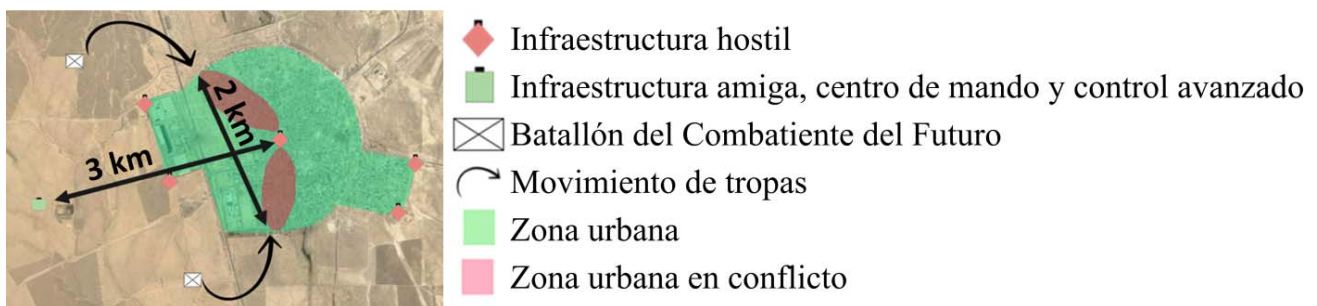
A su vez, el futuro de la Guerra Electrónica pasa por emplear materiales como el Nitruro de Galio (GaN), que es el material clave para la próxima generación de dispositivos electrónicos de alta potencia. Gracias a este material aparecen equipos inhibidores y jammers muy compactos [16].

### 2.10. Sistemas de alimentación y baterías

Las baterías deben ser lo suficientemente duraderas para que la misión pueda alargarse sin perjuicio de las capacidades tecnológicas de las que disponía el soldado al comienzo de la misión. Además, éstas deben ser lo más pequeñas y ligeras posibles. Partiendo de las baterías originales de polímero de litio (LiPo) dedicadas al programa COMFUT, existen en la actualidad apuestas más ambiciosas en términos de densidad energética como baterías que combinan materiales como el grafeno o las baterías de magnesio ion (Mg-ion), litio azufre (Li-S) y Litio aire (Li-O) [17].

## 3. Descripción del escenario. Escenario de guerrilla urbana

Debido a la naturaleza del combate urbano la exigencia en el número de tropas es normalmente alta, principalmente por los requisitos que se exigen a la misión como la fatiga del soldado, el control de los civiles y la evacuación de víctimas. En los manuales de operaciones de combate [18] aparecen algunos objetivos para las misiones de esta índole: localización de los puestos de mando enemigo; identificación de calles y callejones que pueden restringir el desplazamiento de infantería y vehículos blindados aliados; garantizar la invulnerabilidad de las redes de comunicaciones ante ataques electrónicos; localización de rutas de suministro más vulnerables a las emboscadas y los francotiradores. La misión elegida para desplegar la tecnología es la de infiltración en un área urbana, con la participación de un batallón de infantería que entrará en la ciudad formando dos grupos. En la Figura 1 se muestra la disposición de los elementos involucrados.



**Figura 1.** Infiltración en un área urbana.

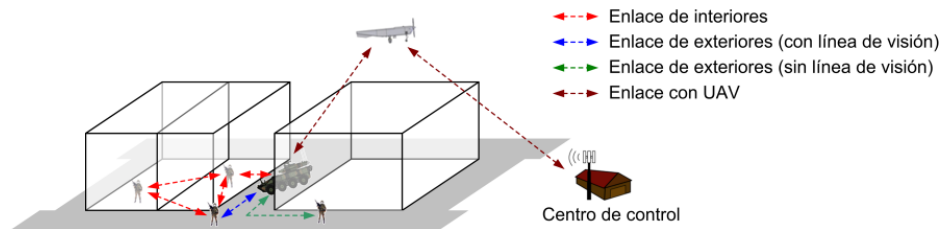
## 4. Análisis cuantitativo del despliegue

### 4.1. Análisis cuantitativo de los enlaces de comunicaciones

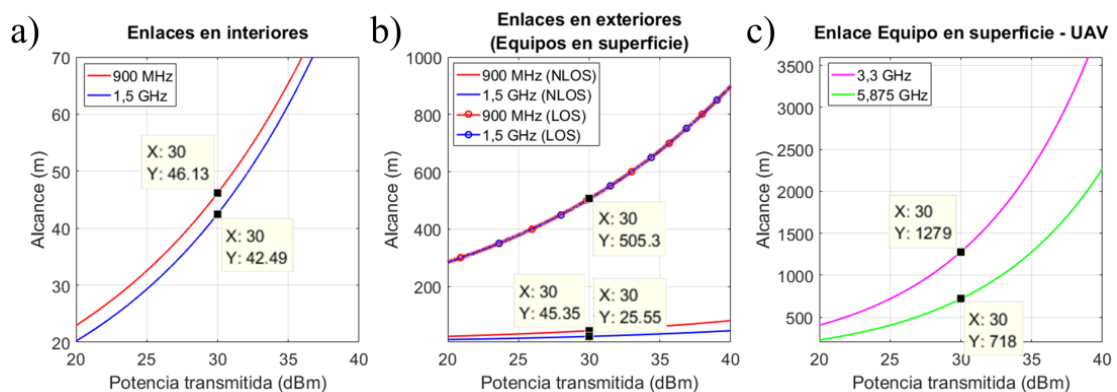
Tratando de resolver las necesidades del entorno urbano en cuanto a enlaces de comunicaciones, la comprensión de la intención de los mandos y el mantenimiento de la conciencia situacional, se va a realizar un despliegue involucrando a un UAV (tomando como referencia el proyecto ATLANTE [19]) y a un vehículo terrestre (VCR 8x8 [20]) que facilitarán la distribución de la información. En este escenario, se han estimado los alcances de los enlaces de comunicación en función de la potencia transmitida de los equipos para aquellos enlaces que se consideran más críticos en términos de potencia de transmisión, pérdidas, sensibilidades y distancias. Se han considerado como valores

típicos una sensibilidad de los receptores de -74 dBm, una ganancia de antena de 3 dBi y un margen de enlace de 5 dB. Los enlaces analizados, que se muestran en la Figura 2, para los que se han obtenido los resultados representados en la Figura 3, son:

- 1) Enlace de comunicaciones para los combatientes que se encuentran en el interior de edificios considerando frecuencias en torno a 900 y 1500 MHz, utilizando el modelo de propagación para sistemas de radiocomunicaciones en interiores [21].
- 2) Enlace de comunicaciones entre equipos situados sobre la superficie en entornos urbanos exteriores (comunicación en exteriores entre combatientes y vehículos terrestres) considerando frecuencias en torno a 900 y 1500 MHz, utilizando el modelo de propagación en el interior de cañones urbanos con y sin línea de visión [22].
- 3) Enlace de comunicación entre un vehículo sobre la superficie y el UAV, utilizando equipos embarcados que se basan en la norma WIMAX a frecuencias 3.3 o 5.875 GHz, utilizando el modelo de propagación para enlaces entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra [23].



**Figura 2.** Enlaces analizados en el escenario.



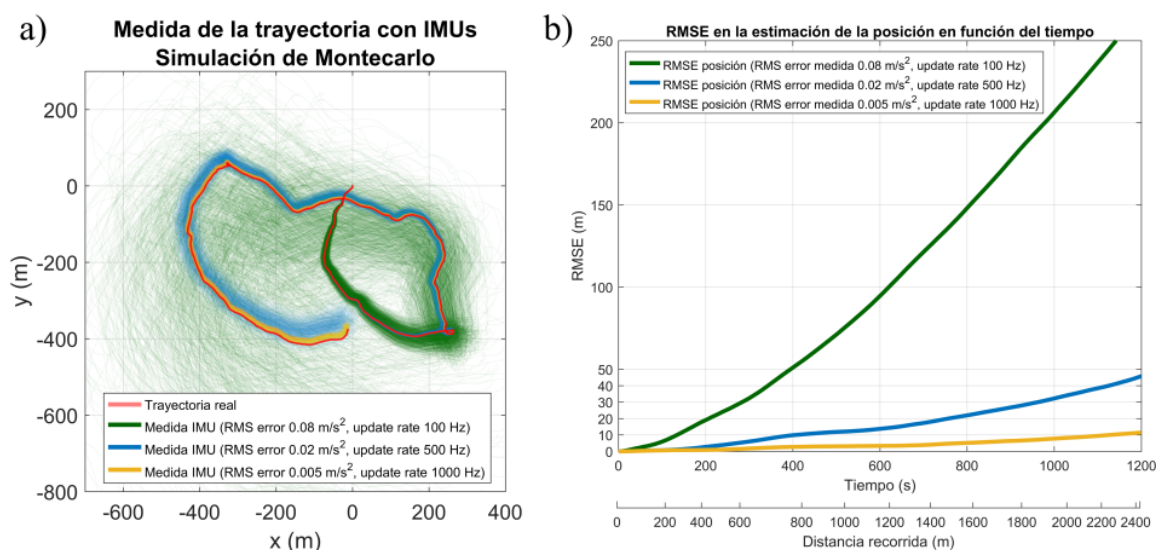
**Figura 3.** Estimación del alcance de los enlaces: a) Enlace en interiores de edificios, b) Enlace en exteriores y c) Enlace entre un equipo en superficie y el UAV.

A partir de estas simulaciones se derivan algunas limitaciones, destacando el reducido alcance de los enlaces en interiores y en exteriores sin línea de visión, que se deben tener en cuenta durante el desarrollo de las operaciones para evitar que los combatientes pierdan el acceso a la red. Además, también se pone de manifiesto la rigidez operativa derivada de la utilización de un único UAV de coste elevado, ya que el alcance del enlace con el UAV no cubre toda el área de interés. Por ello, aparecen estudios sobre vuelos multi-UAV en formación, los conocidos como enjambres, que pueden actuar como nodos inalámbricos para mejorar la fiabilidad, la flexibilidad y el alcance de las redes terrestres.

## 4.2. Análisis cuantitativo de sistemas de navegación en ausencia de GPS

Se necesita conocer la localización del combatiente en todo momento a lo largo de una operación, incluso cuando el soldado se encuentra en el interior de edificios y no reciba señal de GPS o ésta se encuentre contramedida. Para ello, se utilizan frecuentemente sistemas inerciales como IMUs (*inertial measurement units*) que se integran en el equipo del combatiente. Estos sistemas deben hacer frente a los errores en las medidas de sus sensores tratando de reducir al mínimo la deriva que se produce en la estimación de la posición con el paso del tiempo, especialmente debida a los errores en la medida de la aceleración del soldado.

Para evaluar las prestaciones de estos sistemas, se han llevado a cabo simulaciones de Montecarlo del proceso de medida cuando el soldado sigue una trayectoria aleatoria generada con el modelo de Singer. Se han utilizado las características de tres tipos de IMUs: de gama media actual ( $0.08 \text{ m/s}^2$  de error en la medida de la aceleración y 100 Hz de frecuencia de refresco), de gama alta actual ( $0.02 \text{ m/s}^2$  de error en la medida de la aceleración y 500 Hz de frecuencia de refresco) y de un sistema a futuro teniendo en cuenta las investigaciones que se están realizando actualmente ( $0.005 \text{ m/s}^2$  de error en la medida de la aceleración y 1000 Hz de frecuencia de refresco). Los resultados obtenidos, considerando que en el instante inicial se conoce sin error el estado cinético del soldado, se muestran en la Figura 4.



**Figura 4.** Simulación de Montecarlo del proceso de medida con diferentes IMUs para una trayectoria errática: a) Trayectoria real y trayectorias estimadas en cada repetición y b) RMSE (*root mean square error*) de la estimación de la posición en función del tiempo.

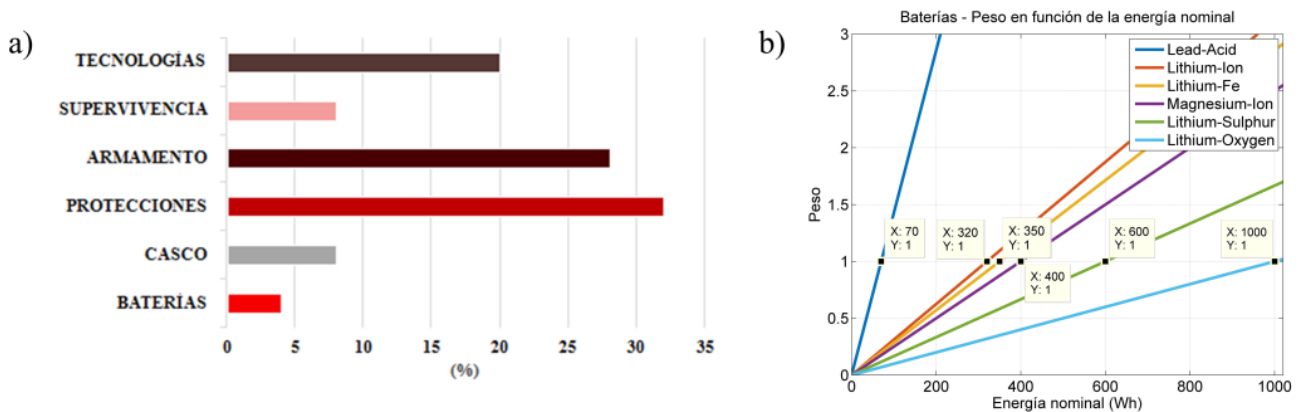
Se observa que se produce una deriva en la estimación de la posición que es creciente con el tiempo. Para la trayectoria simulada, tras 20 minutos, esta deriva es superior a 250 m para el sistema de gama media, aproximadamente 50 m para el sistema de gama alta y unos 10 m para el sistema futuro. Este error se reduce considerablemente al disminuir el error en la medida de la aceleración y al aumentar la frecuencia de refresco. Además, para minimizar la deriva en la medida de la posición, se emplean otras técnicas como el filtrado de las medidas, la fusión de datos de múltiples sensores (acelerómetros, giróscopos, sensores de presión, sensores LIDAR, etc.) o procesados que tienen en cuenta patrones que sigue el ser humano al caminar. A pesar de ello, al ser la deriva en la estimación de la posición creciente con el tiempo, si se requieren largos periodos de navegación sin GPS, se plantea la necesidad de fijar puntos de referencia visuales en el escenario que permitan actualizar periódicamente la posición del combatiente y reinicializar el error en la medida de la posición.

### 4.3. Análisis del peso del equipamiento y las baterías

Se espera una reducción del peso del equipamiento del combatiente con la nueva generación de fluidos ferro-magnéticos inteligentes y transformables utilizados en las protecciones balísticas, y de tejidos más ligeros y eficaces destinados a las protecciones corporales. El peso de todo el conjunto (sistema de armas, protecciones, equipos auxiliares, comunicaciones, medios de gestión y fuentes energéticas) debería situarse por debajo de los 25 kg, de los cuales 1 kg se debe dedicar a las baterías que suministran la energía al equipo del combatiente. La Figura 5a muestra el reparto porcentual del peso total del equipamiento del combatiente entre los diversos sistemas que lo componen.

La misión propuesta tiene una duración estimada de 6 horas. Por tanto, incluyendo un margen del 50 % por posibles inconvenientes que alarguen la operación, se considera que las baterías necesitan suministrar energía suficiente a los equipos del soldado durante 9 horas. En los primeros pasos del programa COMFUT el consumo de todos los sistemas (computador, cámaras, visores, radio, climatizador, WLAN, biomédicos, etc.) estaba cubierto con una batería de 4,8 Ah. Pero los equipos de nueva generación presentan en conjunto un consumo estimado de potencia de 30 W, por lo que los sistemas de almacenamiento deben suministrar 270 Wh de una energía durante la misión.

En la Figura 5b, aparece una comparativa del peso de algunas de las baterías más novedosas en función de su energía nominal considerando los valores máximos de densidades energéticas teóricamente alcanzables [17]. El requisito de energía nominal (270 Wh) para este escenario con baterías de 1 kg se alcanza con las nuevas generaciones de baterías de Li-ion, Li-Fe, Mg-ion, Li-S y Li-O. Es conveniente recalcar el inminente estancamiento en términos de aumento de la densidad energética de las tradicionales baterías de Li-ion y la aparición de novedosas baterías que podrán suministrar hasta tres veces más energía nominal para un mismo peso.



**Figura 5.** Peso del equipo del Combatiente del Futuro: a) Reparto porcentual entre sistemas y b) Peso en función de la energía nominal para distintas tecnologías de baterías.

## 5. Conclusiones

El volumen de información generado por las distintas tecnologías de las que se pueda servir el soldado impondrá a las nuevas redes militares unos altos requisitos de capacidades y potencias de transmisión. Además, durante el tiempo de la misión, se debe asegurar un cierto nivel de energía para los dispositivos, nivel alcanzable con las nuevas generaciones de baterías de alta densidad energética, teniendo en cuenta las restricciones de peso. Otro ámbito donde es necesario mejorar prestaciones es en la navegación en ausencia de GPS, cuya aplicación está limitada a periodos reducidos. Tanto la navegación en ausencia de GPS, como las prestaciones de los enlaces de comunicaciones, podrían



ser mejoradas con el apoyo de los enjambres de UAVs, que constituye otro campo en el que es imperativo avanzar.

## Referencias

1. Kaufmann S, Land Warrior. The Reconfiguration of the Soldier in the "Age of Information". *Science, Technology & Innovation Studies* **2006**; 2: 81–102.
2. Ministerio de Defensa. Network Centric Warfare, Network Enabled Capability. *Monografía del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT)*; **2010**.
3. Spurny V, Baca T, Saska M. Complex manoeuvres of heterogeneous MAV-UGV formations using a model predictive control. *21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, Miedzyzdroje, Poland, **2016**; 998–1003.
4. Abbasi QH, Rehman MU, Yang X, Alomainy A, Qaraqe K, Serpedin E. Ultrawideband Band-Notched Flexible Antenna for Wearable Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2013**; 12: 1606–1609.
5. Farooq W, Ur-Rehman M, Abbassi Q.H, Yang X, Qaraqe K. Design of a finger ring antenna for wireless sensor networks, *10th Eur. Conf. on Antennas and Prop.*, Switzerland, **2016**; 1–4.
6. Bonaccorso F, Colombo L, Yu G, Stoller M, Tozzini V, Ferrari A, Ruoff R, Pellegrini V. Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage, *American Association for the Advancement of Science*, **2015**; 347.
7. Salem A. Thin-film flexible barriers for PV applications and OLED lighting. *IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Portland, OR, **2016**; 1661–1663.
8. Messina A, Fiore F. The Italian Army C2 evolution: From the current SIACCON2 land command & control system to the LC2EVO using “agile” software development methodology, *Int. Conf. on Military Communications and Information Systems*, Belgium, **2016**; 1–8.
9. Mautz R. Indoor Positioning Technologies. *Habilitation Thesis submitted to ETH Zurich*, **2012**.
10. Nilsson J.O, Rantakokko J, Händel P, Skog I, Ohlsson M, Hari K.V.S. Accurate indoor positioning of firefighters using dual foot-mounted inertial sensors and inter-agent ranging, *IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, **2014**; 631–636.
11. Wochlik I, Bułka J, Folwarczny Ł, Daniec K, Jędrasiak K, Koteras R, Nawrat A.M. Application of Telemedical Technologies in Remote Evaluation of Soldiers' Vital Signs during Training and in Combat Conditions. *Innovative Control Syst. for Tracked Vehicle Platforms*, **2014**; 189–202.
12. Seoane F, Ferreira J, Álvarez L, Buendia R, Ayllón D, Llerena C, Gil-Pita R. Sensorized Garments and Textrode-Enabled Measurement Instrumentation for Ambulatory Assessment of the Autonomic Nervous System Response in the ATREC Project, *Sensors*, **2013**; 8997–9015.
13. Durga M, Singh S.K, Verma P.K, Suthar L, Kumar A. Conceptualizing IFF for dismounted soldier, *IEEE Int. Conf. on Electronics, Computing and Comm. Technologies*, India, **2013**; 1–5.
14. Wilk P, Targiel T, Sobel D, Kwiatkowski J, Jędrasiak K. The Concept of an Active Thermal Camouflage for Friend-Foe Identification System. *Innovative Simulation Systems*, **2016**; 67–76.
15. Kiktova E, Lojka M, Pleva M, Juhar J, Cizmar A. Gun type recognition from gunshot audio recordings, *3rd Int. Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF)*, Norway, **2015**; 1–6.
16. Rieger R, Klaaßen A, Schuh P, Oppermann M. GaN based wideband T/R module for multi-function applications, *European Microwave Conference (EuMC)*, Paris, France, **2015**; 514–517.
17. Van Noorden R. The rechargeable revolution: A better battery, *Nature News*, **2014**.
18. Department of the Army. De armas combinadas, operaciones en terreno urbano. **2002**.
19. Airbus Defence, ATLANTE [Internet] [cited 05 Ago 2017]. Available from: <http://defence.airbus.com/portfolio/uav/atlante/>
20. Ministerio de Defensa, Programa Vehículo de Combate sobre Ruedas [Internet] [cited 05 Ago 2017]. Available from: <http://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/programa-VCR8x8.pdf>
21. ITU-R Recommendation. P.1238-8, **2015**.
22. ITU-R Recommendation. P.1411-8, **2015**.
23. ITU-R Recommendation. P.2041-0, **2013**.