

Los sistemas de navegación por satélite y la guerra del futuro: un enfoque prospectivo

Satellite Navigation Systems and the War of the Future: a prospective approach

Fernanda das Graças Corrêa*

RESUMO

La globalización ha hecho que los Ejércitos y las sociedades sean más interdependientes de las tecnologías y sistemas de navegación por satélite, especialmente del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). En este estudio, se describirán los sistemas de navegación por satélites globales y regionales y se analizará la relación entre estos sistemas de navegación y el área de Comunicación Militar y Guerra Electrónica en un enfoque prospectivo. Este ensayo científico está dividido en cinco partes: (1) contextualización de los principales sistemas de navegación por satélite; (2) alternativas tecnológicas de Posicionamiento, Navegación y Tiempo (PNT) al GPS; (3) análisis del ciclo de vida del GPS; (4) sustitución tecnológica del GPS por el Ejército de los Estados Unidos de América (EEUU) y (5) consideraciones sobre la reducción de la dependencia tecnológica del GPS en los planes estratégicos del Ejército brasileño del futuro.

Palabras clave: Sistemas de Navegación por Satélite, Comunicación Militar y Guerra Electrónica, Ejército de los Estados Unidos.

ABSTRACT

Globalization has made Armies and societies more interdependent on satellite navigation technologies and systems, especially GPS. In this study, global and regional satellite navigation systems will be described and the relationship between these navigation systems with the area of Military Communication and Electronic War will be analyzed in a prospective approach. This second scientific essay is divided into five stages: (1) contextualization of the main satellite navigation systems, (2) technological alternatives PNT to GPS, (3) life cycle analysis of GPS, (4) technological substitution of GPS by the US Army and (5) considerations on reducing the technological dependence of GPS in the strategic plans of the Brazilian Army of the Future.

Keyword: Satellite Navigation Systems, Military Communication and Electronic Warfare, US Army

* Postdoctorante en Modelización de Sistemas Complejos por la USP. Postdoctora en Ciencias Militares por la ECEME. Doctora (*Phd.*) en Ciencias Políticas en el área de concentración en Estudios Estratégicos por la UFF, investigadora en la línea Prospección de tecnologías emergentes y disruptivas: enfoques teóricos, metodológicos y prácticos del Grupo de Estudio sobre Tecnologías de Defensa y Evolución del Pensamiento Estratégico (GETED) de la UNESP e investigadora en la línea Prospectiva del Empleo Tecnológico y Militar en el bienio 2020/2021 del Centro de Estudos Estratégicos do Exército (NEP - CEEEx).

Resumen Ejecutivo

Este es el segundo ensayo de la línea de investigación de Prospectiva Tecnológica y Empleo Militar publicado por el Centro de Estudios Prospectivos (NEP) del CEEEx para el bienio 2020/2021. En este texto, el objetivo es mapear las innovaciones disruptivas con potencial disuasivo en la guerra del futuro, destacando las consideraciones y recomendaciones que impactan en los planes estratégicos de largo plazo del Ejército Brasileño (EB).

A diferencia del Ejército de los Estados Unidos, el Ejército brasileño no tiene políticas para adquirir/developar su propio sistema de navegación por satélite. Sin embargo, cuenta con estructuras de Ciencia, Tecnología e Innovación con capacidad para desarrollar sistemas y tecnologías PNT alternativos a medio y largo plazo con el fin de reducir la dependencia de los sistemas de navegación por satélite extranjeros, como el GPS estadounidense y el *Glonass* ruso, en entornos de operaciones multidominio (MDO) en la guerra del futuro.

Además de los sistemas de mejora del GPS, se está estudiando la viabilidad de varias tecnologías que pueden configurarse como alternativas PNT en entornos operativos de GPS denegado o degradado, como los sistemas de balizas, marcas activas o pasivas, láser, *Terrain Contour Matching* (TERCOM), modernas plataformas inerciales con sensores de presión, relojes atómicos integrados en chips y odómetros digitales integrados en los sensores de movimiento de los vehículos militares. Si bien es cierto que ninguna de ellas podrá sustituir al GPS en los teatros de operaciones militares a corto o medio plazo, es imprescindible que los ejércitos que aún no puedan desarrollar sus propios sistemas de navegación prueben tecnologías PNT alternativas en entornos denegados o degradados del GPS MDO en la guerra del futuro.

Además de crear un grupo interfuncional para diseñar, desarrollar y probar nuevas tecnologías alternativas al GPS en colaboración con empresas privadas estadounidenses, el recién creado Mando del Futuro del Ejército de Estados Unidos, por ejemplo, ha desplegado medidas de seguridad y contramedidas, ha probado nuevos sistemas y nuevas tecnologías PNT en varias unidades de vehículos blindados, y ha entrenado a soldados para que prueben estas nuevas tecnologías en diferentes fases de madurez en entornos operativos simulados con GPS denegado y degradado.

También se presentan estudios prospectivos patrocinados por el Ejército de Estados Unidos sobre innovaciones disruptivas con capacidad de sustituir a largo plazo al GPS en la guerra futura, como los pseudolitos y los satélites de órbita terrestre baja (LEO), en particular, *Starlink* de la empresa privada SpaceX. Estas tecnologías se encuentran en el inicio de la fase de introducción en el mercado de su ciclo de vida y, por lo tanto, requieren un análisis prospectivo más profundo que incluya datos como la estimación de la tasa de rendimiento esperada y la inversión de capital necesaria para la introducción de la tecnología en el mercado, la previsión de las ventas, los costes de producción estimados, los efectos de esta nueva tecnología en los costes y las ventas de la línea de productos tecnológicos existente en la empresa, el establecimiento de una política de precios corporativa y una estimación de los riesgos sustanciales que conlleva esta empresa. Herramientas como el análisis del ciclo de vida y la sustitución tecnológica son indispensables en este estudio prospectivo.

En este estudio se hacen consideraciones y recomendaciones pertinentes para que el EB explore el universo de las herramientas y técnicas de prospección con el fin de adquirir/developar sistemas y tecnologías alternativas geoespaciales más precisas, baratas, eficaces y seguras. Así, puede ser posible reducir, a medio y largo plazo, la dependencia tecnológica de la Fuerza Terrestre de los sistemas de navegación extranjeros y aumentar sus capacidades de control/mando, flexibilidad y movilidad estratégica en Operaciones de Amplio Espectro en la guerra del futuro.

1. Introducción

La Prospectiva Tecnológica (PT) designa las actividades de prospección centradas en los cambios tecnológicos y en los cambios en la capacidad funcional o en el tiempo y en la significación de una innovación orientada a incorporar información al proceso de gestión de la tecnología en un intento de predecir los posibles estados futuros de la tecnología o las condiciones que afectan a su contribución a los objetivos establecidos (AMPARO, RIBEIRO, GUARIEIRO, 2012). Los principales objetivos del PT son la toma de decisiones, el establecimiento de prioridades y la capacidad de respuesta y anticipación. Dentro de una concepción teórica "neoschumpeteriana", en la que la innovación tecnológica se produce mediante un proceso complejo y multifactorial, partimos de la hipótesis de que existen varios futuros hipotéticos posibles a considerar. Como se señaló en el primer ensayo científico, titulado *Prospecção Tecnológica em Defesa e o Futuro da Guerra*, publicado en un número anterior de esta revista, la

prospección tecnológica en sectores gubernamentales, centros y laboratorios de investigación y empresas también puede ofrecer nuevos productos, desplegar nuevos métodos y procesos de producción, señalar tecnologías emergentes y *gaps* existentes en programas y proyectos tecnológicos, implantar nuevas culturas organizativas, obtener nuevas fuentes de materias primas y/o recursos estratégicos (personas, materiales y tecnologías), explorar nuevos mercados, crear nuevas estructuras de mercado en una industria y ayudar a priorizar las inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D) y a aumentar los beneficios de las empresas. (CORRÊA, 2020, p.45)

La historia de la humanidad está estrechamente relacionada con su capacidad para proyectarse en los espacios, explorando y ampliando nuevas fronteras en tierra, mar y aire y, más recientemente, en el espacio y en el ciberespacio. A partir de esta íntima relación, el hombre ha ido creando a lo largo de su historia técnicas y tecnologías cada vez más modernas, dominando el arte de la precisión espacial en el entorno en el que pretende proyectarse. De ahí la aparición de la brújula, el astrolabio, la cartografía náutica, los radares, los telescopios y los sistemas de satélites.

A lo largo de los años, debido principalmente a la globalización, la interdependencia y la conectividad, los sistemas de satélites y las tecnologías alternativas para el posicionamiento geoespacial, la definición de rutas y el seguimiento del curso de los vehículos en tierra, mar y aire se han hecho populares e indispensables para el desarrollo estructural de las sociedades modernas, ya sea en el suministro de localización y tiempo, o en el suministro de Internet de banda ancha cada vez más precisa, barata, eficiente y segura. La actividad de seguimiento del curso de los vehículos en tierra, mar y aire, por ejemplo, *"puede proporcionar subsidios para cambiar las rutas causadas por circunstancias que no estaban previstas en la planificación"* (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.1). En las aplicaciones militares, los

ejércitos utilizan el GPS en operaciones que van desde las misiones de búsqueda y rescate hasta el lanzamiento de misiles, el reconocimiento y los sistemas de guiado no tripulados.

Los sistemas de navegación por satélite (SAT-NAV) proporcionan a los receptores móviles sus posiciones haciendo uso de diversas técnicas de posicionamiento geoespacial en la superficie de la Tierra, mediante el uso de satélites artificiales en la capa de la Ionosfera en diversas condiciones naturales, como las atmosféricas, meteorológicas y/o del terreno, y artificiales, como las interferencias electromagnéticas. Entre los SAT-NAV más populares se encuentra el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), administrado por el gobierno estadounidense. El GPS se desarrolló inicialmente para uso militar y es un sistema liderado por las Fuerzas Aéreas estadounidenses que pone los datos geoespaciales, como los de PNT, a disposición de organizaciones civiles y militares. Los SAT-NAV con capacidad para proporcionar posicionamiento geoespacial en cualquier lugar de la superficie terrestre se clasifican bajo la nomenclatura de Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS). Entre los sistemas que pueden encuadrarse como GNSS, el GPS es el más utilizado por los ejércitos del mundo. De ahí la creciente necesidad de los ejércitos de buscar el desarrollo de alternativas que reduzcan la

dependencia de este sistema o su sustitución tecnológica.

Este estudio no se limitará únicamente a describir los SAT-NAV globales y regionales, sino que pretende analizar, en un enfoque prospectivo, la relación de estos sistemas de navegación con el ámbito de la Comunicación Militar y la Guerra Electrónica. En este sentido, este estudio se divide en cinco etapas: (1) contextualización de los principales sistemas de navegación por satélite; (2) alternativas tecnológicas al GPS; (3) análisis del ciclo de vida del GPS; (4) sustitución tecnológica del GPS por el Ejército de los Estados Unidos y (5) consideración de la reducción de la dependencia tecnológica del GPS en la planificación a largo plazo del Ejército brasileño del futuro.

2. Sistemas de navegación por satélite

Entre los SAT-NAV más conocidos se encuentra el GPS estadounidense. Esta tecnología se ha vuelto indispensable para actividades militares y civiles, como la navegación aérea, terrestre y marítima, la geoinformación, la agricultura y el control del tráfico de vehículos, entre otras.

Los avances en Electrónica a lo largo de la Guerra Fría fueron decisivos para el desarrollo de las tecnologías de Comunicación Militar, en especial, aquellas con énfasis en las ondas de radio, como el Sistema de Navegación de Largo Alcance (LORAN), el *Low Frequency Continuous*

Wave Phase Comparison Navigation (DECCA) y el *Global Low Frequency Navigation System* (ÓMEGA). En 1958, la *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) y el Laboratorio de Física Aplicada de Johns Hopkins, con el patrocinio de la Armada estadounidense, comenzaron a desarrollar el *Navy Navigation Satellite System* (TRANSIT), el primer SAT-NAV del país. TRANSIT transmitió señales continuas enviadas regularmente a la memoria de cada satélite desde el Observatorio Naval de los Estados Unidos, y las retransmitió para proporcionar fijaciones horarias precisas en cualquier lugar de la Tierra. TRANSIT quedó obsoleto en cuanto se puso en marcha el conjunto de satélites GPS, construido por la empresa Rockwell, entre los años 1978 y 1985. El GPS es el resultado de la fusión de dos programas financiados por el gobierno estadounidense, respectivamente, bajo la responsabilidad de la Marina y las Fuerzas Aéreas, para desarrollar un sistema de navegación global: TIMATION¹ e SYSTEM 621B². El GPS ofrece dos tipos de servicios: (1) Servicio de posicionamiento preciso y (2) Servicio de posicionamiento estándar. El primero ofrece servicios

¹Los TIMATION eran satélites diseñados, desarrollados y lanzados en los años 60 por el Laboratorio de Investigación Naval de Estados Unidos para transmitir datos horarios de precisión a receptores en tierra.

²SYSTEM 621B eran satélites diseñados, desarrollados y lanzados también en los años 60 por las Fuerzas Aéreas de EE.UU. que utilizaban el principio del tiempo de propagación de las ondas electromagnéticas entre el transmisor (satélite) y el receptor (usuario) para el posicionamiento preciso del usuario.

exclusivamente para fines militares, el nivel de rendimiento más alto disponible exclusivamente para uso militar. Debido a que el Servicio de Posicionamiento Preciso funciona en modo conmutado, los receptores GPS basados en el Módulo *Anti-spoofing* de Disponibilidad Selectiva (SAASM) ofrecen mejor rendimiento en cuanto a precisión posicional y protección de la señal que el Servicio de Posicionamiento Estándar, disponible para las organizaciones civiles. Según el Ejército de los Estados Unidos,

los dos receptores GPS de mayor densidad del Ejército en la actualidad son el Receptor GPS Avanzado de Defensa (DAGR) y el Módulo de Aplicaciones del Receptor GPS Basado en Tierra (GB-GRAM). En 2012 se enviaron aproximadamente 331.000 DAGR para su uso desmontado e instalaciones en plataformas. Hasta la fecha se han adquirido más de 125.000 GB-GRAM a través de un contrato aún activo del Ejército para equipar una amplia gama de sistemas de armas. Además, el Dispositivo Distribuido DAGR (D3) proporcionará una capacidad PNT distribuida para determinadas plataformas en el año fiscal FY16.³

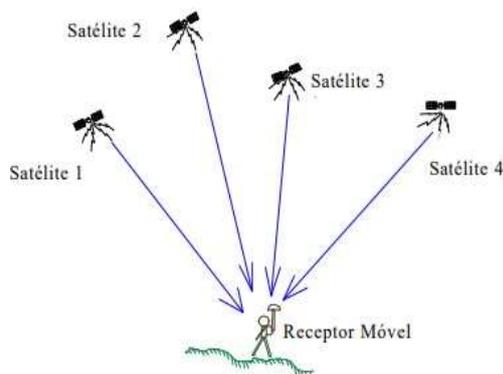
El GPS funciona en tres segmentos: un segmento espacial, formado por 24 satélites; un segmento de control en tierra; y un segmento de equipos de usuario, formado por receptores configurados para aplicaciones de mano, tierra, aviones y barcos.

El GPS ha permitido una gran variedad de aplicaciones civiles y militares (ampliamente utilizadas en la Guerra del Golfo - 1991, por ejemplo). Su gran potencial para permitir aplicaciones que implican un posicionamiento rápido y preciso ha sido explorado en varias áreas del conocimiento. El sistema está compuesto por una constelación de 24 satélites distribuidos en seis planos orbitales situados a unos 20.000

³Para acceder a esta noticia en la página oficial del Ejército de los Estados Unidos, haga clic aquí: <https://asc.army.mil/web/portfolio-item/navstar-global-positioning-system-gps/>

km de altitud. Las señales enviadas por los satélites GPS son captadas en la superficie terrestre por equipos adecuados (receptores GPS), lo que permite determinar la posición en 3D; solución que sólo es posible si el receptor sintoniza simultáneamente al menos cuatro satélites (Figura 1). (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.3)

Figura 1: Posicionamiento absoluto (por punto)



Fuente: (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.3)

Los receptores GPS captan las señales de cuatro satélites para determinar la hora y sus propias coordenadas. Se denomina pseudodistancia a la distancia entre el tiempo de recorrido del centro de fase de la antena del satélite cuando se produce la emisión y el centro de fase del receptor GPS en el momento en que recibe la transmisión.

Las señales transmitidas por los satélites son extremadamente débiles y se denominan ruido pseudoaleatorio (*pseudorandom noise*), ya que se confunden con el ruido atmosférico de fondo. Estas señales llegan a la superficie de la Tierra con una potencia de 5×10^{-17} W, que es un valor increíblemente bajo (miles de millones de veces más débil que las señales de televisión). (MONTEIRO, 2007)

El GPS es una innovación disruptiva que revolucionó el arte de la guerra desde su uso por parte de Estados Unidos en los teatros de operaciones militares en la Primera Guerra del Golfo (1991). Permitió realizar ataques quirúrgicos con prototipos de bombas y

misiles guiados *Tomahawk* sobre objetivos predefinidos que redujeron significativamente las bajas civiles y el número de bajas por fuego amigo. La mayoría de las municiones en la Guerra del Golfo seguían siendo guiadas por láser y la mayoría de los misiles empleaban sistemas de *Terrain Contour Matching*- adaptación al contorno del terreno (TERCOM). El guiado por láser de las municiones tuvo éxito en las operaciones en el desierto. Sin embargo, TERCOM ha demostrado ser inexacto y complejo de utilizar, ya que dificulta a los responsables militares la predefinición y selección de nuevos objetivos, obligándoles a programar los contornos del terreno en una nueva base de datos (MONTEIRO, 2007).

El uso paulatino del GPS en las sucesivas guerras en las que participaron los Ejércitos de Estados Unidos y de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) a finales del siglo XX y principios del XXI -la primera Guerra del Golfo en 1991, la Guerra de Bosnia en 1995, la Guerra de Kosovo en 1999, la Guerra contra el Terror desde 2001, especialmente en Afganistán e Irak, y la Coalición Militar Internacional en Siria en 2017- se ha convertido en algo constante e irrevocable.

Es importante destacar que los ejércitos emplean, en los teatros de operaciones bélicos, el GPS de forma integrada con otros recursos humanos, materiales y tecnológicos y existen limitaciones técnicas. Además, a pesar del

notorio éxito de la adopción del GPS en estas guerras, en los últimos años, las condiciones naturales, como el terreno circundante, y las tecnologías de Guerra Electrónica, como las interferencias electromagnéticas del enemigo, han contribuido a procesos de interferencia brusca de las señales recibidas por el GPS.

El guiado por GPS obedece a otras premisas, ya que implica que el objetivo esté inmóvil y que se conozca su posición exacta, lo que puede conseguirse tomando esas coordenadas de un mapa, una fotografía aérea o una imagen de satélite, o a través de personas sobre el terreno, que informan de la posición del objetivo. Sin embargo, también pueden producirse errores. Por ejemplo, cuando, el 7 de mayo de 1999, una munición guiada por GPS destruyó la Embajada de China en Belgrado (en lo que fue quizás el revés más publicitado del guiado por GPS), las coordenadas del objetivo se habían tomado de un mapa. Sólo que ese mapa se remonta a 1992, con el edificio en cuestión identificado como una sede serbia, y la Embajada de China había trasladado sus instalaciones al edificio afectado sólo en 1996 ... En aquel momento, un alto funcionario de los servicios de inteligencia estadounidenses comentó: "*It was the right address applied to the wrong building*". "Era la dirección correcta aplicada al edificio equivocado". El problema, por tanto, no era un fallo en el guiado, sino un error en la identificación del objetivo. Las armas guiadas por GPS se dirigen a puntos con coordenadas precisas, sin poder, por supuesto, evaluar lo que destruyen: la "misión" del GPS es hacer que den en un punto preciso. Sin embargo, el ser humano siempre seguirá cometiendo errores y decisiones equivocadas, especialmente cuando se encuentra bajo la enorme presión del combate. (MONTEIRO, 2007)

Además del GPS, existen otros SAT-NAV, como el ruso *Glonass*, el europeo *Galileo*, el chino *Compass*, el japonés *QZSS* y el indio *IRNSS*.

Glonass fue desarrollado inicialmente por el extinto gobierno soviético a mediados de la década de 1970. También estructurado en tres segmentos, el segmento espacial está compuesto por la constelación de satélites

distribuidos en la órbita terrestre media. En 1982 se puso en órbita el primer satélite, cuya constelación se basa en una escala atómica cuya hora estándar es la de la ciudad de Moscú. El segmento de control está directamente subordinado a la Fuerza Espacial Rusa.

Los rastreadores *Glonass* tienen la capacidad de registrar datos del sistema GPS y realizar sus propias mediciones. El rendimiento y la precisión en tiempo real mejoran significativamente cuando ambos tipos de satélites están en control. Al añadir *Glonass* al GPS, se mejoran todos los aspectos de la navegación y el posicionamiento en tiempo real, como la disponibilidad de la señal de más satélites, la fiabilidad de las observaciones, la estabilidad de la distribución geométrica de los satélites y el tiempo de inicialización de los rastreadores. (BRASIL, 2014, p.24)

A diferencia del GPS y el *Glonass*, *Galileo* es el sistema de navegación por satélite de la Unión Europea, diseñado originalmente para aplicaciones civiles. El primer satélite de este sistema, *GIOVE-A*, cuyo diseño fue responsabilidad de la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea, se puso en órbita en diciembre de 2005 y las primeras señales fueron transmitidas por *Galileo* en enero de 2006.

Además de hacer que los países de la UE dependan menos de la red estadounidense, el proyecto Galileo debería ayudar a corregir algunos problemas técnicos del actual GPS, como las interferencias en la transmisión de datos y la interrupción de la señal que ya se registra en los aviones. Dado que Galileo se está diseñando para funcionar también junto con el GPS, la fiabilidad y precisión de los datos globales será mucho mayor, ya que la cobertura pasará de 24 satélites a unos 60. También se espera que Galileo ayude a la Unión Europea a captar parte del mercado de los fabricantes de dispositivos GPS, cuyo valor actual ronda los 8.500 millones de

dólares en Estados Unidos. (SUPER INTERESSANTE, 2002)

Compass, también conocido como *Beidou-2*, es el sistema de navegación por satélite compuesto por una constelación de 35 satélites, de los cuales treinta están situados en órbita media y los cinco restantes serán geostacionarios. El Sistema Experimental de Navegación por Satélite *Beidou (Beidou-1)* se puso en marcha en 2000. La segunda generación, *Beidou-2*, comenzó a funcionar en diciembre de 2011 con sólo 10 satélites y desde entonces ha prestado servicios de navegación a China y sus socios. El lanzamiento de *Beidou-3*, el último de este proyecto, se puso en órbita en junio de 2020 desde el Centro de Lanzamiento de Satélites de *Xichang*, situado en el suroeste de China.

Japón es otro de los países que también quiere reducir su dependencia del GPS desarrollando su propio sistema de posicionamiento y navegación, y ampliar la prestación de servicios geoespaciales, especialmente de posicionamiento, navegación e Internet de banda ancha, a otros países de la región Asia-Pacífico. Las autoridades y los expertos japoneses afirman que las interferencias involuntarias en la emisión de la señal GPS, debidas principalmente a los rascacielos y las zonas montañosas, han dificultado la geolocalización, especialmente en el segmento del transporte autónomo por carretera. En septiembre de 2010, la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón

(JAXA) autorizó el lanzamiento con un cohete H-IIA de Michibiki, el primer satélite QZSS fabricado por *Mitsubishi Electric Corp* 6503.T, desde el centro espacial de Tanegashima, para prestar servicios geoespaciales exclusivos de NWP. El Sistema de Satélites *Quasi-Zenith (QZSS*, sigla en inglés) está diseñado para aumentar las señales de los satélites de navegación como el GPS y Galileo, no para sustituirlos.

En julio de 2013, la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO) puso en órbita el primer satélite del Sistema de Navegación por Satélite de la India (IRNSS) para proporcionar servicios de posicionamiento y cronometraje de precisión en tiempo real que se extienden desde el territorio nacional hasta 1.500 km a su alrededor, con planes de ampliación regional. La constelación del IRNSS está totalmente en órbita desde abril de 2018 y durante la 102ª sesión del Comité de Seguridad Marítima (MSC) de la Organización Marítima Internacional (OMI), celebrada virtualmente del 4 al 11 de noviembre de 2020, aprobó el IRNSS como Sistema Mundial de Radionavegación (WWRNS). Al igual que el GPS y el *Glonass*, el IRNSS está habilitado para prestar servicios de aplicación tanto civil como militar. Entre estos servicios de doble aplicación se encuentran: la navegación terrestre, aérea y marítima; la gestión de catástrofes; el seguimiento de vehículos y la gestión de flotas; la integración de *smartphones*; la meteorología de precisión; la

cartografía y la captura de datos geodésicos; el apoyo a la navegación terrestre para excursionistas y viajeros; y la navegación visual y por voz para conductores.

3. Alternativas tecnológicas al GPS

El GPS se somete a constantes actualizaciones de los sistemas para que sea menos vulnerable a las interferencias naturales y artificiales. En junio de 2020, el Departamento de Defensa de Estados Unidos (DoD) adjudicó un contrato de 1,7 millones de dólares a *Orolia Defense & Security* para varios sistemas de simuladores GPS avanzados *BroadSim* para instalaciones, recursos y pruebas de campo. Estos nuevos sistemas permitirán probar receptores GPS militares ampliamente desplegados e integrados con sistemas PNT en el aire y en tierra. En los ataques quirúrgicos con objetivos predefinidos en los teatros de operaciones de guerra, el GPS funciona de forma integrada con otras tecnologías. Además del láser y el TERCOM, existen otros sistemas de guiado que transmiten información de localización y/o tiempo que, históricamente, son utilizados de forma integrada con el GPS por los ejércitos en los teatros de operaciones. Algunos ejemplos son los sistemas de balizas y las marcas activas o pasivas.

(...) para obtener una precisión aceptable, deben utilizarse técnicas diferenciales capaces de reducir el error de posición de 5 a 0,1 metros. Obviamente, cuanto mayor sea la precisión requerida, mayor será el coste del sistema, llegando a varios millones cuando se requiere una precisión de unos pocos

centímetros. No sólo el coste asociado a un receptor GPS puede ser un problema en algunos casos, sino también el problema de la localización continua del vehículo. Así, para obtener una posición precisa es necesario recibir señales de un gran número de satélites y, en algunos casos, esto es imposible debido a la presencia de obstáculos (árboles, montañas, edificios y terreno accidentado) que los protegen. Durante el tiempo que se mantienen estas circunstancias, se desconoce la ubicación del vehículo móvil. (POZO-RUZ et al, 2000, p.p.1-2).

La complejidad de los entornos operativos en la guerra del futuro ha exigido a los ejércitos tecnologías SAT-NAV y alternativas cada vez más eficaces, más baratas y más precisas.

En un artículo titulado *Localización de Vehículos: Fusión de Medidas GPS y Odometría*, los autores proponen un enfoque algorítmico para estimar la localización precisa de vehículos basado en la fusión de las medidas proporcionadas por un receptor GPS diferencial y por los sensores internos del vehículo cuyo objetivo del método de fusión propuesto es lograr un compromiso entre la fiabilidad y la precisión de las medidas y el precio de los dispositivos sensoriales (POZO-RUZ et al, 2000, p.1). Según los autores,

el algoritmo de fusión propuesto parte de una caracterización de los errores asociados a las medidas proporcionadas por los diferentes sensores a bordo del vehículo, así como de las relaciones de dependencia existentes entre ellos. (POZO-RUZ et al, 2000, p.1)

Además de que las señales que reciben los receptores GPS se actualizan constantemente porque se consideran vulnerables a las interferencias naturales y

artificiales, como las electromagnéticas, las interferencias (*jamming*⁴) y las falsificaciones (*spoofing*), los objetivos deben ser estacionarios y los mapas deben actualizarse

La vulnerabilidad a las interferencias es la mayor debilidad del sistema, especialmente en un teatro de operaciones (MONTEIRO, 2007).

La falsificación es otra vulnerabilidad que compromete la eficacia y la seguridad del suministro de datos del GPS para los servicios militares y civiles. Los receptores GPS pueden ser suplantados por amenazas de *spoofing*, lo que provoca desastres en los teatros de operaciones militares. Es importante destacar que, a lo largo de los años, los desarrolladores han ideado constantemente contramedidas *anti-jamming*, como el *spread spectrum*⁵ que aumenta significativamente la resistencia a las interferencias electromagnéticas y a las interferencias, y contramedidas *anti-spoofing*, como las señales militares encriptadas del Servicio de Posicionamiento Preciso GPS.

Existen otros riesgos y amenazas para los usuarios militares y civiles asociados al uso de tecnologías integradas en el GPS, como pulseras y relojes inteligentes, dispositivos conectados a la *Internet de las cosas* (IoT) y otros dispositivos como tabletas, teléfonos inteligentes y relojes que pueden indicar la ubicación del personal militar en zonas de

⁴*Jamming* significa la codificación intencional y deliberada de los medios electrónicos

⁵Se trata de una técnica de codificación para la transmisión de señales mediante la "duplicación de frecuencias".

guerra y no de guerra. La Agencia de Seguridad Nacional (NSA) hace hincapié en estos riesgos y amenazas. Recomienda a los militares estadounidenses que proporcionen el menor número posible de permisos para las más diversas aplicaciones que solicitan información del usuario y que desactiven las funciones que permiten encontrar dispositivos perdidos o robados. Un artículo publicado en *The Wall Street Journal* informaba que las agencias de inmigración y aduanas de Estados Unidos utilizan estos datos comprados a partir de información de localización emitidas por GPS para vigilar y controlar los flujos de inmigración ilegal a través de las fronteras del país. A principios de 2020, el Departamento de Seguridad Nacional de Estados Unidos confirmó la compra y venta de datos de localización basados en información GPS desde al menos 2017. La NSA teme que los gobiernos enemigos de Estados Unidos puedan utilizar el GPS para comprar información de localización a los militares estadounidenses (OLHAR DIGITAL, 2020a).

Creado el 1^o de julio de 2018, el Mando del Ejército de Futuro de Estados Unidos (AFC), ubicado en Austin (Texas), tiene la misión de modernizar la Fuerza Terrestre mediante el desarrollo de requisitos operativos, organizaciones y materiales a largo plazo.

Básicamente, el Mando del Futuro del Ejército de Estados Unidos desarrolla la elaboración de conceptos de futuro (ante una amenaza/reto, desarrolla conceptos para sistemas futuros). Una vez equilibrados estos conceptos, se asignan recursos para el desarrollo de experimentos, prototipos y

eventuales adquisiciones. Por último, tras los experimentos y el establecimiento de conceptos doctrinales y programas de formación, se llevan a cabo proyectos de adquisición, producción y mantenimiento de las capacidades generadas en el proceso para el ejército estadounidense. (DOMINGUES SILVA, 2020, pp.41-42)

Entre las áreas de proyecto que la AFC pretende desarrollar se encuentran las redes móviles y expedicionarias, con especial atención a la PNT. Mientras sigue apoyando los esfuerzos del Ejército del Aire para desarrollar una nueva generación de satélites GPS que emitan señales más potentes, el AFC ha invertido en tecnologías para reducir su dependencia del GPS y ha formado a las tropas en tácticas de guerra electrónica. Al expresar públicamente su profunda preocupación por la interferencia de la señal del GPS en los teatros de operaciones de la guerra futura, el general John Murray, entonces comandante del AFC, anunció varias medidas: (a) la creación de un Equipo Multifuncional de Posicionamiento, Navegación y Aseguramiento del Tiempo; (b) el despliegue de un nuevo dispositivo antiperforación GPS en los vehículos blindados ligeros Stryker del 2º Regimiento de Caballería, basado en Alemania⁶; (c) el despliegue del Sistema de Navegación y Cronometraje Garantizado de Precisión Montado (MAPS) en vehículos blindados pesados, como el vehículo de combate Bradley, el tanque M1 Abrams y el

observador de combate blindado autopropulsado M109 Paladin (VBCOAP); y (d) el entrenamiento de guerra de navegación avanzada para que los soldados estén mejor preparados para entornos operativos de GPS negados o degradados (SPACE NEWS, 2019). En julio de 2019, los soldados del Ejército de Estados Unidos participaron en un ejercicio de evaluación de PNT (PNTAX) en *White Sands Missile Range*, en Nuevo México, para operar y probar nuevas tecnologías de PNT en diferentes etapas de madurez en entornos operativos de GPS negados o degradados. Además de mejorar las contramedidas del GPS y las medidas de seguridad de la información, las organizaciones militares, han estado desarrollando diversas tecnologías PNT con el fin de reducir la dependencia tecnológica de las Fuerzas Terrestres de Estados Unidos del GPS en las operaciones multidominio (MDO). En una entrevista de agosto de 2019, según el coronel Nick Kioutas, director de PNT:

(...) el Ejército ha adoptado un enfoque por capas para garantizar la precisión de los datos de posición y tiempo (...). Este enfoque incluye la integración de tecnologías no radioeléctricas en el campo de batalla, como los sistemas de navegación basados en la inercia, los relojes atómicos incrustados en chips y los odómetros montados en los soldados o en los vehículos. (ESTADOS UNIDOS, 2019)

Los Sistemas de Navegación Inercial (INS) miden los movimientos lineales y/o angulares procesando las magnitudes de uno o varios sensores inerciales, como la brújula, el acelerómetro y el giroscopio, proporcionando

⁶Se espera que cientos de vehículos militares más en todo el teatro de operaciones del Mando Europeo de los Estados Unidos estén equipados con estos dispositivos a corto y medio plazo.

información de geolocalización. La brújula señala el norte magnético, creando un punto de referencia para el sistema, el giroscopio identifica en qué dirección se mueve el usuario haciendo uso de un punto de referencia anteriormente mencionado y el acelerómetro calcula la velocidad a la que se mueve el usuario. Debido a los defectos técnicos de la medición de la ubicación, que puede variar con una diferencia de milímetros en los primeros minutos y defectos de incluso un kilómetro después de la primera hora, los actuales sistemas de navegación inercial, sobre todo en los teatros de operaciones militares, aún no pueden sustituir al GPS. Los fallos y las fluctuaciones en el cálculo de la precisión de la localización de los actuales INS que operan sólo con las tres herramientas pueden causar catástrofes en las operaciones bélicas. Sin embargo, desde 2012, las empresas *STMicroelectronics* y *CSR* han estado trabajando en el desarrollo de un proyecto experimental que utiliza un sistema de navegación inercial en entornos de navegación de GPS que cuenta con brújula, giroscopio, acelerómetros y un sensor de presión (CHIU, 2012). Se espera que, en el futuro, este proyecto experimental proporcione un INS mucho más preciso, en el que el sensor de presión sea capaz de calcular la ubicación del usuario con una precisión comparable a la del GPS.

Los relojes atómicos son medidores de tiempo que funcionan basándose en la propiedad del átomo bajo estímulos externos,

como las ondas electromagnéticas. Cada segundo de unidad de tiempo corresponde a 9.192.631.770 ciclos de radiación y entre los elementos más utilizados en los relojes atómicos están el hidrógeno, el rubidio y el cesio. Los chips incrustados en los relojes atómicos citados por el coronel Kioutas pueden utilizarse en dispositivos alimentados por pilas o baterías, cuantificando con precisión la distancia entre objetos, cronometrando el tiempo que tarda una señal en llegar del punto A al punto B. En junio de 2019, el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA en Pasadena, California, lanzó el *Deep Space Atomic Clock*, un reloj atómico que calcula la trayectoria de las naves espaciales autónomas o tripuladas en el espacio profundo independientemente de los sistemas de navegación de la Tierra. Los científicos de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) esperan que en el futuro estos relojes informen con precisión del tiempo y la distancia entre los puntos A y B en nanosegundos. Es posible que los avances en el desarrollo de estos relojes también puedan considerarse alternativas tecnológicas al GPS para los ejércitos en MDO en la guerra del futuro.

Aunque no se consideran sustitutos del GPS en la guerra del futuro, los odómetros son indispensables para medir el kilometraje y evaluar el estado de desgaste de los vehículos militares. Un cuentakilómetros es un sistema mecánico o digital de conteo de distancia que indica el kilometraje recorrido. Con el avance

sistemas de Comunicación Militar citados por Ebling, permiten un mejor control, velocidad, precisión y gestión de la línea de fuego en su conjunto en el VBCOAP M109A5 + BR.

4. Análisis del ciclo de vida del GPS

Los expertos en comunicaciones militares y guerra electrónica señalan que a largo plazo será posible que las innovaciones disruptivas puedan sustituir al GPS en la guerra del futuro. Ejemplos de estas innovaciones disruptivas son los pseudolitos y los satélites *Starlink* de la empresa privada *SpaceX*. Sin embargo, como veremos más adelante, la sustitución por innovaciones tecnológicas competidoras se produce cuando la innovación que la precede se encuentra en la fase de declive de su ciclo de vida, de ahí la necesidad de analizar la madurez tecnológica del GPS a través de herramientas de prospectiva, para certificar o no que el GPS se encuentra en la fase de declive.

Según el artículo titulado *Technology futures analysis: toward integration of the field and new methods*, Alan L. Porter (2004) presenta las familias y las herramientas metodológicas de la prospección tecnológica. La herramienta de análisis del ciclo de vida en la clasificación adaptada de Porter pertenece a la familia de la modelización y la simulación (SANTOS et al, 2004, pp. 198-199). En general, el ciclo de vida de una innovación tecnológica se analiza bajo los siguientes parámetros: introducción, crecimiento, madurez y declive. En este estudio no se

pretende predecir el tamaño del GPS en cada fase ni especificar en qué momento esta innovación entrará en la fase de declive.

Las fases de introducción y crecimiento corresponden, respectivamente, a la fase inicial de la vida de la innovación, cuando se lanza al mercado, y a la fase en la que la innovación es aceptada y conquista el mercado. Como hemos analizado, el GPS ya ha superado estos dos ciclos de su vida. En la fase de madurez, existen factores y variables críticas que deben ser consideradas, tales como: alta participación de la innovación tecnológica en el mercado, generación de beneficios y rentabilidad a la empresa, baja inversión en la difusión y familiarización del usuario/consumidor con la tecnología y poca competencia en el mercado. En un análisis cualitativo basado en la información ya expuesta en este estudio, se puede afirmar que el GPS presenta una alta cuota de mercado, sigue generando beneficios en mayor volumen y es extremadamente rentable para el gobierno estadounidense. El GPS es una tecnología ya consolidada en el mercado de la producción, procesamiento, gestión, análisis de datos y distribución de productos tecnológicos y sistemas geoespaciales. Además, el usuario/consumidor ya está familiarizado con la tecnología. En la fase de declive, la tecnología empieza a perder cuota de mercado. A esta variable pueden sumarse factores críticos como: que los usuarios/consumidores cambien sus preferencias y opten por empresas de la

competencia y que los desarrolladores de la tecnología dejen de invertir recursos en ella. Además de seguir invirtiendo en recursos humanos, materiales y tecnológicos para mejorar el GPS, como ya se ha descrito, el gobierno de EE.UU. también invierte en la mejora de las medidas de seguridad de la información y en las contramedidas *anti-jamming* y *anti-spoofing*. Es imperativo reforzar que, a corto plazo, ninguna de las tecnologías geoespaciales aquí descritas es capaz de sustituir al GPS a corto plazo.

5. Sustitución tecnológica del GPS por el Ejército de Estados Unidos

La herramienta de sustitución de tecnología en la clasificación adaptada de Alan Porter también pertenece a la familia de la modelización y la simulación (SANTOS et AL 2004, pp. 198-199). El proceso de sustitución tecnológica en una organización puede darse de forma parcial o total. La difusión de la innovación tecnológica se produce entre los ciclos de introducción y crecimiento. Es cuando otras organizaciones de este segmento adoptan la misma innovación tecnológica por razones técnicas o económicas, convirtiéndose en competidores. Es también en este momento cuando “*el nuevo producto o proceso sustituye a uno más antiguo con ventajas técnicas y económicas*” (SOBRAL, 1977, p.3). Existen varios modelos de sustitución tecnológica en los que la sustitución se produce dentro de la propia industria que desarrolló la innovación tecnológica o que la sustitución se produce en

otra empresa que recibe esta innovación como insumo. También es posible que una filial o *spin-off* sustituya la innovación desarrollada por la empresa matriz. Según el modelo, la sustitución tecnológica puede promover el crecimiento económico, mejorar las condiciones de trabajo y la calidad de vida, reducir el tiempo de ocupación en la producción de bienes o servicios, optimizar la automatización de los medios de producción e implantar nuevos procesos educativos y organizativos en la empresa.

¿Qué factores debe tener en cuenta una empresa para decidir si lanza el nuevo producto? En primer lugar, debe estimar la tasa de rendimiento esperada de su introducción. El resultado, por supuesto, depende de la inversión de capital necesaria para su lanzamiento, de las ventas previstas, de los costes de producción estimados y de los efectos de este nuevo producto sobre los costes y las ventas de la línea de productos existente en la empresa. Estos factores dependen en parte de la política de precios de la empresa, además de las características del nuevo producto. En resumen, la empresa debe estimar, lo mejor posible, los riesgos que conlleva esta situación. Estos riesgos deben ser considerables, porque en general, de cada diez productos que surgen de la investigación y el desarrollo, cinco no superan la prueba del producto y/o la prueba del mercado, y de los cinco que superan estas pruebas sólo dos se convierten en éxitos comerciales. (SOBRAL, 1977, p.7)

Los procesos de sustitución tecnológica también pueden explicarse mediante modelos matemáticos que emplean, por ejemplo, curvas logísticas en forma de S (*S-Shaped Curves*). En este enfoque cuantitativo,

el proceso de sustitución comienza lentamente hasta que se superan los problemas y resistencias iniciales, cuando entonces el proceso se produce más rápidamente hasta que la competencia entre la antigua y la nueva tecnología se hace más

fuerte y la nueva tecnología se hace más ventajosa, y finalmente esta tecnología se acerca a la saturación y comienza un proceso de declive, al mismo tiempo que otra tecnología gana aceptación, principalmente porque es más eficiente; es entonces cuando el proceso se reinicia. (REDDY, 1996 APUD BALESTIERI, 2014)

El coste marginal de una tecnología se reduce sistemáticamente tras una fase de grandes inversiones iniciales en Investigación y Desarrollo (I+D) y un mercado incipiente. Cuanto más se adopte la tecnología, más se abaratará y menos riesgos de incertidumbre habrá (BALESTIERI, 2014). La innovación tecnológica, los cambios en los costes relativos y en la calidad y/o la reducción de la cantidad de usuarios son responsables del inicio del proceso de declive tecnológico. Sin embargo, no necesariamente la sustitución acompaña a la incertidumbre sobre la demanda futura (PORTER, 2004, p.268).

la sustitución tecnológica se produce entre organizaciones del mismo segmento geoespacial. Aunque el GPS se encuentra en la fase de plena madurez de su ciclo de vida, las organizaciones militares que dependen en gran medida de la prestación de este servicio geoespacial, como el Ejército de Estados Unidos, han estado elaborando estudios para la sustitución de esta tecnología con el objetivo de aumentar las capacidades militares en su planificación estratégico-operativa a largo plazo. En palabras de Charlie Miller, jefe de la división de Posicionamiento, Navegación y Tiempo de la Dirección de Mando, Potencia e Integración, subordinada al Mando de Comunicaciones del Ejército de Estados Unidos, más de 12.000 millas separan la Tierra de los satélites GPS y la intensidad de la señal recibida es muy baja y frágil (...) nuestro objetivo es desarrollar tecnologías innovadoras no satelitales que puedan sustituir al GPS cuando su señal se vea temporalmente comprometida.⁷ (2016)

⁷ Para acceder a esta noticia en la página oficial del Ejército de los Estados Unidos, haga clic aquí: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese

Miller destacó que los pseudolitos son una de las tecnologías candidatas a sustituir al GPS y una solución polivalente para las operaciones militares en entornos sin GPS en la guerra del futuro. Los pseudolitos también incluyen transmisores, pero en lugar de señales procedentes del espacio, estas señales se transmiten más cerca de la Tierra y residen en plataformas como una tienda de campaña, un vehículo o una aeronave que vuela a baja altura, proporcionando protección de la zona y datos PNT mediante transmisores de satélites de radionavegación terrestres y aéreos en entornos con problemas electrónicos o físicos utilizando una señal de mayor potencia (C4ISRNET, 2015). Corroborando lo dicho por Miller, según John Delcolliano, jefe de la División de Sistemas Integrados del Centro de Investigación, Desarrollo e Ingeniería de Comunicaciones- Electrónicas (CERDEC) C, P&I PNT,

la proximidad de los pseudolitos al suelo permite a los soldados obtener información de posición en entornos a los que el GPS normalmente tiene dificultades para llegar, como bosques, valles y cañones, o incluso parcialmente dentro de los edificios de la ciudad (...) Los pseudolitos también son más difíciles de interferir para el enemigo en comparación con la señal del GPS⁸(2016).

El Programa de Información Directa sobre PNT del Ejército de los Estados Unidos se activó en 2015 con el fin de abordar

[rve_position_information_during_gps_denied_conditio ns](https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese)

⁸ Para acceder a esta noticia en la página oficial del Ejército de los Estados Unidos, haga clic aquí: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese
[rve_position_information_during_gps_denied_conditio ns](https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese)

cuestiones e iniciativas críticas relacionadas con las capacidades de PNT en todas las carteras del Ejército. Además, el CERDEC también está promoviendo los esfuerzos de investigación y desarrollo de PNT para perfeccionar y madurar las soluciones de pseudolitos. Otra estructura en C, T&I para gestionar las tecnologías de pseudolitos fue el Programa PNT, que depende directamente del Subsecretario del Ejército para Adquisición, Logística y Tecnología (ASA/ALT), dentro del Sistema de Dirección de Ingeniería e Integración de Sistemas del Ejército de los Estados Unidos. Este Programa coordina las carteras de ASA/ALT y trabaja conjuntamente con las oficinas ejecutivas del programa del Ejército y los directores de programa para garantizar que la Fuerza Terrestre de los Estados Unidos incorpore un enfoque empresarial al PNT.

El Ejército de Estados Unidos ha expresado públicamente su profunda preocupación por las interferencias intencionadas de la guerra electrónica en las señales de los receptores militares del GPS y se ha centrado en la adquisición y el desarrollo de satélites más pequeños de órbita terrestre baja (LEO). A diferencia del GPS, los satélites LEO se mueven a la velocidad de la rotación de la Tierra, se sitúan sobre una ubicación fija y orbitan entre 100 y 1.240 millas sobre el planeta. Como los satélites LEO están unas 200 veces más cerca de la superficie de la Tierra que los satélites GPS, las ondas de radio tienen mucha menos

latencia y la transmisión de la señal es mucho más rápida. Sin embargo, hay preocupaciones relacionadas con la prestación de servicios de banda ancha rápida. Sobre la proliferación de satélites LEO de empresas privadas como *Amazon*, *Telesat* y *SpaceX*, Jason Joose, Jefe de Estado Mayor del Equipo de Posicionamiento, Navegación y Sincronización Multifuncional del Ejército de Estados Unidos, dijo lo siguiente:

cuando se observa el gran número de satélites que se elevan y el reducido coste de hacerlo, nos da muchas oportunidades de cómo resolver los problemas. (SERVICIO DE NOTICIAS DEL EJÉRCITO, 2020)

Expresando su preocupación por los ataques de interferencia y suplantación de identidad, Joose aboga por que el Ejército invierta en recursos geoespaciales, como sus propios satélites o en asociaciones con empresas que exploren estas oportunidades dirigidas a las áreas en las que el Ejército de Estados Unidos puede aprovechar en la guerra del futuro (ARMY NEWS SERVICE, 2020).

Recientemente, Peter A. Iannucci y Todd E. Humphreys, ambos del Laboratorio de Radionavegación de la Universidad de Texas en Austin, publicaron un artículo titulado *Fused Low-Earth-Orbit GNSS*, en el que concluyen que el GPS puede ser sustituido por los satélites *Starlink*, una red de satélites de órbita terrestre baja de bajo coste que proporciona servicios de navegación, muy precisos y casi invulnerables. A diferencia del GPS, que alcanza menos de 100 bits por segundo, los satélites *Starlink* se consideran eficientes routers de Internet en el

espacio, capaces de alcanzar 100 megabits por segundo (IANNUCCI, HUMPHREVS, 2020, p.14).

La red de satélites *Starlink* es un proyecto en curso de la empresa privada estadounidense *SpaceX*, clasificado como LEO, con capacidad de transmisión de Internet de banda ancha de bajo coste, alto rendimiento y alta velocidad a lugares en los que el acceso es poco fiable, caro o completamente inexistente. Dentro del ámbito de la exploración espacial sostenible, según informa la propia *SpaceX*,

al final de su vida útil, los satélites utilizarán sus sistemas de propulsión a bordo para salir de órbita en el transcurso de unos meses. En el improbable caso de que el sistema de propulsión no funcione, los satélites se quemarán en la atmósfera terrestre en un plazo de 1 a 5 años, bastante menos que los cientos o miles de años que se necesitan a mayor altura.⁹

El 23 de mayo de 2019, *SpaceX* lanzó 60 satélites *Starlink* de clase *Falcon 9 Full Thrust Block 5* (F9 B5) de propulsión iónica con criptón¹⁰ y con sensores *Star Tracker* a una órbita de 450 km desde la estación de la Fuerza Aérea de Cabo Cañaveral en Florida. *Star Tracker* es el modelo de sensor interno personalizado que indica a cada satélite su altitud y el posicionamiento preciso de la banda ancha.

Según el calendario previsto, la empresa tiene previsto lanzar unos 1.584

⁹ Para acceder esta noticia publicada en la página oficial de *SpaceX*, pulse aquí: <https://www.starlink.com/>

¹⁰ Sistema de propulsión que permite al satélite orbitar, maniobrar en el espacio y desorbitar al final de su vida útil.

satélites F9 B5 en 24 planos orbitales con 66 satélites cada uno. *Starlink* pretende ofrecer servicios de localización, tiempo y banda ancha de Internet en la región norte de Estados Unidos y Canadá. A partir de 2021, la prestación de servicios de *SpaceX* se ampliará a nivel mundial.

6. Reducción de la dependencia tecnológica del GPS en los planes estratégicos del Ejército brasileño

Según el Plan Estratégico del Ejército (PEEx) 2020-2023, el DCT ha propuesto para el EB varias áreas de investigación aplicables a los Proyectos de Desarrollo de Productos de Defensa (PRODE) que implican directa e indirectamente el área de Comunicación Militar y Guerra Electrónica, tales como sistemas de guerra electrónica, sistemas de información, ingeniería de sistemas, fusión de datos, procesamiento de señales, simulación y simuladores, geoinformación, seguridad de la información, computación de alto rendimiento, antenas, energía pulsada y redes de datos con énfasis en el Internet de las Cosas (IoT). (BRASIL, 2019^a, pp. 54-59 Apud CORRÊA, 2020, p. 45).

La Geoinformación es un área de investigación aplicable a los proyectos de desarrollo de PRODE que proporciona numerosos elementos informativos y herramientas de análisis con vinculación geográfica en múltiples espacios, que permiten la precisión de la localización tanto para aplicaciones civiles como para

aplicaciones militares, incluyendo la planificación de operaciones militares.

En la Figura 8, se puede observar que la Geoinformación proporciona soporte tecnológico para una gran variedad de usos, como: adquisición de datos de diferentes fuentes, almacenamiento y manipulación, análisis, visualización y disponibilidad.

Figura 3: Etapas de Producción de la Geoinfo



Fuente: (BRASIL, 2014, p.28)

Según el Manual de la Campaña de Geoinformación 2014 EB20-MC-10.209 (1ª edición), entre las principales tecnologías y sistemas de geoinformación se encuentran: (1) Sistemas de satélites; (2) Teledetección; (3) Posicionamiento global por satélite; (4) Comunicaciones por satélite; (5) Sistemas de información geográfica; (6) Sistemas de

procesamiento digital de imágenes; y (7) Topografía.

Como se ha detallado anteriormente, los sistemas de satélite y el GPS son el objeto de este estudio prospectivo. Según este Manual, las áreas de aplicación de los sistemas satelitales en el Ejército Brasileño son: a) Teledetección, en la que se dispone de imágenes provenientes de sensores orbitales; b) Posicionamiento Global, en la que se dispone de coordenadas terrestres en tiempo real de forma continua y con alta precisión; c) Comunicaciones, en la que se define la conexión continua de diferentes puntos de la superficie terrestre y la provisión de correcciones de coordenadas para los sistemas de posicionamiento con refinada precisión; y d) Gravimetría, en la que se determina la gravedad terrestre continua en diferentes puntos de la superficie como mecanismo de control de altitud. (BRASIL, 2014, p.19)

El entorno operativo de la guerra del futuro está en constante mutación, lo que exige al Ejército inversiones en el aumento continuo de las capacidades de control/mando y en la flexibilidad y movilidad estratégica. En el Ejército de Estados Unidos, estos cambios en el entorno operativo, como ya se ha mencionado, se ganaron la denominación de MDO. En el Ejército Brasileño, los constantes cambios en el ambiente operacional de la guerra del futuro merecieron la denominación de Operaciones de Amplio Espectro (OAE).

Las operaciones [OAE] también consisten en la aplicación de recursos de combate, simultánea o sucesivamente, combinando actitudes ofensivas y defensivas, de pacificación, de Ley y Orden, de apoyo al gobierno y a las instituciones internacionales y de asistencia humanitaria, en un entorno interagencial. (NASCIMENTO, 2013, p. 9)

Entre las OAE, se pueden encontrar operaciones ofensivas, defensivas, de garantía de la ley y el orden (GLO), de apoyo a los organismos gubernamentales, de pacificación y de ayuda humanitaria. El Ejército brasileño depende en gran medida de la prestación de servicios de localización, tiempo y banda ancha de Internet ofrecidos por los SAT-NAV extranjeros. Parte del contingente militar de la Fuerza Terrestre está adoctrinado, preparado y entrenado para actuar en OAE en cualquier tipo de condiciones. En las operaciones de guerra en la selva, por ejemplo,

la constatación de que los equipos receptores de GPS no funcionan correctamente bajo la densa cubierta vegetal de la selva, por ejemplo, llevó al Ejército a restringir su uso sólo a la instrucción y a los casos en que la determinación de coordenadas precisas es esencial, como en una evacuación aeromédica. Unas fuerzas excesivamente dependientes de recursos tecnológicos como el GPS podrían tener serios problemas en la Amazonia (REIS E SILVA, 2011).

Por otro lado, uno de los mayores programas del Ejército brasileño es el Sistema Integrado de Vigilancia de Fronteras (SISFRON). Se trata de un sistema integrado de detección y apoyo a la toma de decisiones en apoyo del empleo operativo. Entre los hechos delictivos que se producen en las zonas fronterizas brasileñas se encuentran: el tráfico de drogas, el robo de cargas y vehículos, el tráfico de armas y municiones,

los delitos contra el medio ambiente, el refugio de delincuentes, el contrabando y la malversación de fondos, la explotación sexual de niños y jóvenes, la trata de personas, las rutas de vehículos robados, el robo de ganado, el pistolero, la evasión de divisas y el turismo sexual.¹¹ El objetivo del SISFRON es fortalecer la presencia y la capacidad de vigilancia y acción del Estado en la zona de la frontera terrestre, reforzando las acciones de las entidades gubernamentales con responsabilidades en la zona. Además de tener que aumentar la capacidad de vigilancia de las zonas fronterizas, para asegurar el flujo continuo y seguro de datos entre los distintos niveles de la Fuerza Terrestre, el SISFRON tendrá que desplegar medios de detección a lo largo de los 16.886 kilómetros de la línea fronteriza terrestre, lo que requerirá la adquisición/desarrollo a corto, medio y largo plazo de recursos tecnológicos que recojan, procesen, gestionen y analicen datos geoespaciales de la superficie terrestre.

Mientras que Embratel pertenecía al Estado, las Fuerzas Armadas disponían de un satélite de comunicaciones geostacionario genuinamente nacional que les proporcionaba servicios en la banda X. Sin embargo, cuando se privatizó Embratel, los satélites brasileños que operaban en la banda X pasaron a ser controlados por Embratel Star One y las Fuerzas Armadas comenzaron a pagar a

¹¹Para acceder La noticia sobre los eventos criminales en la franja fronteriza, pulse aquí: http://www.fiepr.org.br/cinpr/servicoscin/promocaocercialcin/uploadAddress/16.10 - SISFRON - ApresFIEP_21Jul14%5B56656%5D.pdf

extranjeros para que prestaran servicios en la banda X. *Visiona Tecnologia Espacial S.A.*, empresa brasileña de economía mixta creada en 2012, con el objetivo de recuperar la autonomía y la soberanía en el área de las Comunicaciones Militares a través del satélite, actuó como integrador en la implantación del Satélite Geoestacionario de Defensa y Comunicaciones Estratégicas (SGDC). A corto y medio plazo, este satélite responderá a las demandas de la Fuerza Terrestre, especialmente a las del SISFRON, aumentando la capacidad de control/vigilancia, la flexibilidad y la movilidad estratégica mediante el suministro/adquisición/desarrollo de datos, sistemas y tecnologías geoespaciales, sin depender totalmente de la prestación de servicios en banda X desde el exterior.

7. Conclusión

Hasta la fecha, sólo cinco países y una organización internacional han sido capaces de desarrollar SAT-NAVs de alcance global o regional vía satélite. Estos actores controlan la producción, el procesamiento, la gestión, el análisis y la distribución de datos, sistemas y tecnologías geoespaciales en el sistema internacional. De estos SAT-NAV, cuatro también centran sus actividades en aplicaciones militares: GPS, *Glonass*, *Compass* e IRNSS. Y de estos cuatro, sólo dos son sistemas con aplicaciones militares de alcance mundial: GPS y *Glonass*. En escenarios de guerra, la interrupción de la

entrega de datos geoespaciales y la captura de datos puede ser catastrófica para los ejércitos que dependen de los servicios de estos SAT-NAV. El láser, el TERCOM, las modernas plataformas inerciales con sensores de presión, los relojes atómicos integrados en chips y los odómetros digitales integrados en los sensores de movimiento de los vehículos y todos los demás SAT-NAV son complementarios al GPS. Aunque ninguna de las alternativas tecnológicas presentadas en este estudio tiene los criterios de capacidad y criticidad a corto y medio plazo para sustituir al GPS en los teatros de operaciones militares, es imprescindible que los países y organizaciones que aún no pueden desarrollar sus propios SAT-NAV busquen estudios que prospecten tecnologías alternativas y sustitutivas del GPS en la guerra del futuro.

El Ejército de los Estados Unidos ha expresado públicamente su profunda preocupación por las interferencias intencionadas de la guerra electrónica en la emisión de señales a los receptores GPS. En este contexto, ha tratado de desarrollar estudios que prospecten tecnologías alternativas y sustitutivas del GPS en la guerra del futuro, explorando oportunidades de asociación con la industria privada de tecnologías geoespaciales.

Los pseudolitos y *Starlink* son considerados por los técnicos y especialistas en Comunicación Militar y Guerra Electrónica innovaciones disruptivas con capacidad para sustituir al GPS en la guerra

del futuro. Sin embargo, todavía están al principio del ciclo de introducción de la tecnología en el mercado. De acuerdo con el marco sugerido por João Bosco Manguiera Sobral, se necesitan mayores datos e informaciones estadísticas, tales como la estimación de la tasa de retorno esperada y de la inversión de capital requerida por la introducción de la tecnología en el mercado; las ventas esperadas; los costos de producción estimados; los efectos de esta nueva tecnología en los costos y ventas de la línea de productos tecnológicos ya existentes en la empresa; el establecimiento de una política de precios corporativa; la estimación de los riesgos sustanciales involucrados en tal emprendimiento; entre otros. Tras obtener estos datos en el ámbito de estudios prospectivos que se desarrollarán a lo largo de la maduración tecnológica, se podrá evaluar si, efectivamente, los pseudolitos y el *Starlink* podrán sustituir al GPS en la guerra del futuro.

Desde que el gobierno brasileño privatizó Embratel, el Ejército brasileño depende del suministro de señales GPS de satélites extranjeros. Con el SGDC y la posible adquisición de nuevos satélites a corto plazo, EB podrá reducir su dependencia de los servicios prestados por tecnologías y sistemas de satélite extranjeros, principalmente el GPS.

Sin embargo, el Ejército brasileño sigue siendo extremadamente dependiente de los servicios, sistemas y tecnologías geoespaciales extranjeros. En caso de una interrupción intencional o accidental, temporal o permanente, de la transmisión de las señales de los satélites, especialmente del GPS, puede haber un compromiso incalculable para la mayor parte de la Fuerza Terrestre y sus programas estratégicos en OAE.

A diferencia de países como China y Japón, el gobierno brasileño no tiene planes a corto, medio y largo plazo para desarrollar de forma autónoma SAT-NAVs o innovaciones disruptivas, como los pseudolitos o los sistemas de satélites LEO. Sin embargo, se recomienda que, a semejanza del Ejército de los Estados Unidos, el Ejército brasileño explore el universo de herramientas metodológicas de gestión tecnológica, especialmente las de prospección, para adquirir/desarrollar sistemas y tecnologías geoespaciales alternativas y sustitutivas para aplicaciones militares más precisas, más baratas, más eficientes y más seguras que reduzcan, a medio y largo plazo, la dependencia tecnológica de la Fuerza Terrestre en las Operaciones de Amplio Espectro GNSS.

Referencias

[BRASIL] Relatório de Gestão do Exército Brasileiro. Exército Brasileiro. Exercício de 2018. Ministério de Defesa. 2019. Disponible en: <http://www.cciex.eb.mil.br/images/pca/2018/cmdopca2018.pdf> . Accedido: 19 nov. 2020.

[BRASIL] Manual de Campanha EB20-MC-10.209 de Geoinformação. Exército Brasileiro. 1ª Edição, 2014. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/EB20-MC-10.209.pdf> . Acessado: 16 dic. 2020.

BAILEY, Kathryn. Pseudolites preserve position information during GPS-denied conditions, Army USA, 13 de junho de 2016. Disponível em: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_preserve_position_information_during_gps_denied_conditions . Acessado: 16 dez. 2020.

BALESTIERI, José Antônio Perrella. Geração de energia sustentável. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

CHIU, Yu-Tzu. Trying Out Indoor Navigation Using Inertial Sensing. IEEE Spectrum, 20 de dezembro de 2012. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/portable-devices/trying-out-indoor-navigation-using-inertial-sensing> . Acessado: 15 dic. 2020.

CORRÊA, Fernanda das Graças. Planejamento Baseado em Capacidades e Transformação da Defesa: desafios e oportunidades do Exército Brasileiro. Revista Artigos Estratégicos. Vol 8 (1) Jan/Jun 2020. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/CEEExArE/article/view/4843/4128> . Acessado: 19 nov. de 2020.

CORRÊA, Fernanda das Graças. Prospecção Tecnológica em Defesa e o Futuro da Guerra. Revista Análise Estratégica. Vol. 18 (4) Set/ Nov 2020.

DOMINGUES DA SILVA, Charles. O Planejamento Baseado em Capacidades e o advento do Exército do Futuro: convergências. Revista Análise Estratégica. Vol 17 (3) Jun/ Ago 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/catar/Downloads/6411-Texto%20do%20artigo-12619-1-10-20201002.pdf> . Acessado: 17 dic. 2020.

EBLING, Tiago Alvez. Atualização do Manual Baterias do Grupo de Artilharia de Campanha em Virtude da Aquisição da VBCOAP 109 A5 + BR. Especialização em Ciências Militares com ênfase em Gestão Operacional, Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Exército Brasileiro. 2018. Disponível em: https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3559/1/Tcc_Art_Ebling_Esao.pdf . Acessado: 16 dic. 2020.

ERWIN, Sandra. Army looks for alternatives to GPS as enemies threaten to jam signals. Space News, 14 de outubro de 2019. Disponível em: <https://spacenews.com/army-looks-for-alternatives-to-gps-as-enemies-threaten-to-jam-signals/> . Acesso em: 17 dez. 2020.

HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; MONICO, J. F. G.; IMAI, N. N. Planejamento logístico de rotas para sistema de navegação apoiado por GPS. In: COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis – SC. 2000. CDROM. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Galera_Monico/publication/228853313_Planejamento_logistico_de_rotas_para_sistema_de_navegacao_apoiado_por_GPS/links/00b7d5195245cc7b1e000000/Planejamento-logistico-de-rotas-para-sistema-de-navegacao-apoiado-por-GPS.pdf . Acessado: 15 dic. 2020.

IANNUCCI, Peter A. HUMPHREVS, Todd E Fused Low-Earth-Orbit GNSS. arXiv:2009.12334v1 [eess.SP] 25 Sep 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2009.12334.pdf> . Acessado: 19 nov. 2020.

MONTEIRO, Luís Nuno da Cunha Sardinha. O GPS na Guerra. Revista Militar. Nº 2463 – Abril de 2007. Disponível em: <https://www.revistamilitar.pt/artigo/197> . Acessado: 15 dic. 2020.

MOTA, Renato. Starlink pode oferecer sistema de navegação mais preciso do que o GPS. Olhar Digital, 29 de setembro de 2020b. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/ciencia-e-espaco/noticia/starlink-pode-oferecer-sistema-de-navegacao-mais-preciso-do-que-o-gps/107855> . Acessado: 19 nov. 2020.

NASCIMENTO, Hertz Pires do. A Abrangente Concepção de Emprego da Força Terrestre. Military Review.

Maio-Junho de 2013. Disponível em: https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/militaryreview/Archives/Portuguese/MilitaryReview_20130630_art005POR.pdf . Acessado: 16 dic. 2020.

O Galileu, GPS do futuro. Super Interessante, 30 de junho de 2002. Atualizado em 31 de outubro de 2016. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/o-galileu-gps-do-futuro/> . Acessado: 16 dez. 2020.

PORTER, Michael E. Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

POZO-RUZ, A. GARCÍA-ALEGRE, M. C. RIBEIRO, A. GARCÍA, L. GUINEA, D. SANDOVAL, F. Localización de Vehículos: Fusión de Medidas GPS y Odometría. Instituto de Automática Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Domingo_Guinea/publication/237469731_LOCALIZACION_DE_VEHICULOS_FUSION_DE_MEDIDAS_GPS_Y_ODOMETRIA/links/004635329b3599f8c5000000/LOCALIZACION-DE-VEHICULOS-FUSION-DE-MEDIDAS-GPS-Y-ODOMETRIA.pdf . Acessado: 16 dic. 2020.

REIS E SILVA, Hiram. CIGS – Centro Coronel Jorge Teixeira III. Página oficial do Exército Brasileiro, 07 de junho de 2011. Disponível em: http://www.eb.mil.br/web/imprensa/resenha/-/journal_content/56/18107/692443#.X9krsdhKjIU . Acessado: 16 dic. 2020.

SANTOS, Marcio de Miranda. COELHO, Gilda Massari. SANTOS, Dalci Maria dos. FELLOWS FILHO, Lélío. Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. Parcerias Estratégicas, nº 19. Dezembro de 2004. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/253/247 Acessado em: 16 oct. 2020.

SCHAEFFER, Cesar. EUA dizem para militares desativarem serviços de localização; entenda a preocupação. Olhar Digital, quatro de agosto de 2020a. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2020/08/04/noticias/eua-dizem-para-militares-desativarem-servicos-de-localizacao-entenda-a-preocupacao/> . Acessado: 15 dic. 2020.

SHEFTICK, Gary. Army looks to leverage 'low Earth orbit' satélites. Army News Service, 09 de março de 2020. Disponível em: https://www.army.mil/article/233587/army_looks_to_leverage_low_earth_orbit_satellites. Acessado: 16 dic. 2020.

SOBRAL, João Bosco Mangueira. Modelos de Substituição Tecnológica e suas Aplicações ao Setor de Fibras Têxteis no Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1977. Disponível em: <https://www.cos.ufjf.br/uploadfile/1364322016.pdf> Acessado: 16 dic. 2020.

SUITS, Devon L. Army showcases new electronic warfare tech. Army News Service, 23 de agosto de 2019. Disponível em: https://www.army.mil/article/226082/army_showcases_new_electronic_warfare_tech . Acessado: 19 nov. 2020.

YASIN, Rutrell. Army explores future of navigation. C4ISRNET, 12 de outubro de 2015. Disponível em: <https://www.c4isrnet.com/intel-geoint/2015/10/12/army-explores-future-of-navigation/> . Acessado: 16 dic. 2020.