



Las tecnologías satelitales de observación de la tierra
y su influencia en la estrategia de seguridad y
defensa de Colombia

Robert Santiago Quiroga Cruz

Trabajo de grado para optar al título profesional:
Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia

2014

Q847t
E).3

TRABAJO DE GRADO

50384



LAS TECNOLOGÍAS SATELITALES DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA Y SU INFLUENCIA EN LA ESTRATEGIA DE SEGURIDAD Y DEFENSA DE COLOMBIA

MAESTRÍA EN SEGURIDAD Y DEFENSA NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA

Mayor ROBERT SANTIAGO QUIROGA CRUZ

Bogotá D.C., Octubre de 2014

Tabla de contenido

1.3. Áreas de aplicación de las TSOT	57
Referencias y sugerencias	65
Lista de Figuras	4
Lista de Tablas	5
Introducción	6
1.1. Política Integral de Seguridad y Defensa Nacional para la Prosperidad PISDP	12
1.2. Áreas de la PISDP en las cuales pueden ser utilizados las TSOT	17
Capítulo 2. TSOT con aplicaciones en Seguridad y Defensa	21
2.1. Características del ambiente espacial	21
2.2. Leyes de Kepler	22
2.3. Regiones del espectro electromagnético	23
2.4. Características técnicas de los Satélites de Observación de la Tierra	24
2.5. Satélites de Observación de la Tierra con aplicaciones en Seguridad y Defensa	31
2.5.1. SOT de imágenes electro-ópticas (SIEO)	33
2.5.2. SOT de imágenes infrarrojas (SIIR)	35
2.5.3. SOT de imágenes radar (SIRD)	37
2.5.4. SOT Lidar (Light Detection and Ranging) (SILD)	39
Capítulo 3. Influencia de las TSOT sobre la ESD	42
3.1. Aplicaciones de las tecnologías satelitales de observación de la tierra en la PISDP	42
3.1.1. Inteligencia	42
3.1.2. Vigilancia	42
3.1.3. Reconocimiento	43
3.2. Análisis de las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra	44
3.2.1. Influencia positiva	44
3.2.2. Influencia negativa	45
3.3. Impacto de las tecnologías satelitales de observación de la tierra sobre la PISDP	46
3.4. Importancia e impacto de las operaciones espaciales en las operaciones militares	48
3.5. Importancia e impacto de las TSOT en un escenario postconflicto	50
Capítulo 4. Oportunidad para integrar las TSOT en sectores productivos del país	54
4.1. Integración de capacidades satelitales de observación de la tierra	54
4.2. Áreas y sectores no militares que se benefician de las TSOT	55

4.3. Áreas de aplicación de las TSOT contempladas en el CONPES 3683	57
Recomendaciones y sugerencias.....	65
Bibliografía.....	66

Figura 2. Objetivos PISOT	11
Figura 3. Abstracción de objetivos del BND, PISOT y PEI PAC	14
Figura 4. Espectro electromagnético	24
Figura 5. Espectro operativo de un SOT	25
Figura 6. Distintos rangos de resolución espacial	26
Figura 7. Distintos rangos de resolución espectral	27
Figura 8. Distintos rangos de resolución radiométrica	28
Figura 9. Ejemplos de distintos rangos de resolución radiométrica	28
Figura 10. Ejemplo de distintos rangos de resolución radiométrica	29
Figura 11. Ejemplo de resolución temporal	29
Figura 12. Gráfica explicativa de satélite con capacidad de toma de datos	30
Figura 13. Imagen satelital banda Geotia Sur. Ecuador	33
Figura 14. Imágenes satelitales multibanda	35
Figura 15. Imagen satélite radar vector Ecuatorial. Ecuador	37
Figura 16. Imagen lidar tomada sobre el Tamboya	39
Figura 17. Operaciones Espaciales PAC	40
Figura 18. Ejemplos Operaciones Espaciales PAC	40
Figura 19. Sectores que influyen en el SOT CCE	50
Figura 20. Áreas temáticas SOT Colombia CCE	50

Lista de Figuras

Figura 1. Consolidación de la Paz y lineamientos estratégicos	13
Figura 2. Objetivos PISDP	13
Figura 3. Alienación de objetivos del PND, PISDP y PEI FAC	14
Figura 4. Espectro electromagnético	24
Figura 5. Esquema operativo de un SOT	25
Figura 6. Distintos rangos de resolución espacial	26
Figura 7. Distintos rangos de resolución espectral	27
Figura 8. Distintos rangos de resolución radiométrica	28
Figura 9. Ejemplos de distintos rangos de resolución radiométrica	28
Figura 10. Ejemplo de distintos rangos de resolución radiométrica	29
Figura 11. Ejemplo de resolución temporal	29
Figura 12. Grafica explicativa de satélite con capacidad de toma angular	30
Figura 13. Imagen satelital bunker Osama Bin Laden	33
Figura 14. Imágenes satelitales infrarrojas	35
Figura 15. Imagen satélite radar volcan Eyjafjallajökull, Island	37
Figura 16. Imagen lidar tomada sobre el Tamesis	39
Figura 17. Operaciones Espaciales FAC	49
Figura 18. Ejemplos Operaciones Espaciales FAC	49
Figura 19. Sectores que influenciaba el SOT CCE	56
Figura 20. Áreas temáticas SOT Colombia CCE	56

Lista de Tablas

Tabla 1. Objetivos y estrategias de la PISDP no influenciados por las TSOT	17
Tabla 2. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT electro-ópticos	34
Tabla 3. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT infrarrojos	36
Tabla 4. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT radar	38
Tabla 5. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT lidar	40
Tabla 6. Beneficios y aportes a los pilares que soportan la PISDN	46
Tabla 7. Objetivos y estrategias de la PISDP apoyados por los diferentes SOT	47

Introducción

El espacio es considerado la nueva frontera del conocimiento, poco es lo que se sabe aún de él, mucho lo que inquieta y más aún, lo que falta por descubrir. El ambiente espacial desafía el conocimiento humano e impone retos que de manera gradual han sido superados con base en los desarrollos tecnológicos y la persistencia de los seres humanos.

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, este escenario obtuvo el mayor interés de los dos hegemones mundiales existentes, estableciendo una cerrada competencia por llegar al espacio a través de innumerables proyectos que constituyeron la llamada carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, como parte de la Guerra Fría, convirtiéndose en uno de los indicadores de la confrontación no bélica. Ambas potencias tuvieron la visión de proyectar sus capacidades militares a este nuevo escenario, que les permitió incorporar un nuevo concepto de guerra con alcance global.

Este concepto militar de las operaciones espaciales es hoy en día una constante, que involucra la manipulación de diferentes tecnologías satelitales con aplicaciones en Seguridad y Defensa; identificando los Satélites de Observación de la Tierra, también conocidos como de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento en su versión militar, como la tecnología satelital que más altos beneficios y aplicaciones ofrece a la actual Estrategia de Seguridad de Defensa Nacional (Quiroga, 2014).

Los satélites militares de observación de la tierra son considerados como una herramienta crucial para el planeamiento y ejecución de las operaciones militares modernas. Ellos facilitan la rápida adquisición, transmisión y diseminación de información desde el espacio, con características que incluyen cubrimiento global, amplia cobertura, presencia no invasiva en áreas

lejanas, rápida respuesta y elevada flexibilidad, que les permite proveer soporte en tiempo real para apoyar las operaciones militares tanto en periodos de paz como durante un conflicto.

Los productos generados por estas tecnologías satelitales se evidencian como herramientas tecnológicas fundamentales para la Seguridad y Defensa de los países que los poseen; esta realidad, sería suficiente motivo para enfocar los esfuerzos de una Nación por adquirir un activo que le permita acceder a tales beneficios. En el caso Colombiano, el Ministerio de Defensa Nacional carece de una capacidad satelital de Observación de la Tierra, obligando a depender de tecnologías y proveedores internacionales, que impide garantizar un control autónomo de los satélites y de la información que se adquiere por medio de ellos.

Esta situación se agudiza tanto por el desconocimiento de los beneficios de las tecnologías satelitales de observación de la tierra, como por la conducción de análisis erróneos de costo beneficio, que han evitado identificar la necesidad de adquirir una tecnología satelital, que permita conducir de manera autónoma las operaciones espaciales requeridas para apoyar la consecución de los objetivos de la Estrategia de Seguridad y Defensa.

En el presente trabajo se expone como el ambiente espacial y las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra (en adelante TSOT) son vitales para apoyar el logro de los objetivos propuestos en la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad (en adelante PISDP), la cual funge como la Estrategia de Seguridad y Defensa del Estado Colombiano (en adelante ESD), analizando los beneficios que estas TSOT le generan y aportan a la ESD; de igual manera se identifican las áreas diferentes al sector defensa que se ven afectadas positivamente por estas tecnologías.

La importancia que revisten las tecnologías satelitales de observación de la tierra permite fundamentar como tesis del presente trabajo que el Gobierno Nacional tiene en el uso Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra una oportunidad contundente para apoyar la Estrategia de Seguridad y Defensa de Colombia, el logro de los objetivos de la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad y generar una nueva área de desarrollo para el país.

De la anterior tesis se deriva la presente investigación, la cual da respuesta al siguiente interrogante principal ¿Cuál es la influencia de las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra en la estrategia de Seguridad y Defensa de Colombia?; y logra una mayor importancia, teniendo en cuenta la dependencia que tiene la Fuerza Aérea Colombiana en proveedores internacionales de tecnologías satelitales de observación de la tierra para conducir las Operaciones Espaciales, que la obliga a compartir la planeación de la adquisición de las imágenes y datos adquiridos, en detrimento de la reserva y confidencialidad de la información, característica inherente a los temas que involucran la Seguridad y la Defensa Nacional.

Así mismo, se plantean cuatro objetivos específicos que son desarrollados en cada uno de los capítulos planteados, los cuales son: analizar en cuales áreas de la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional pueden ser utilizadas estas tecnologías satelitales; identificar las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra con aplicaciones en Seguridad y Defensa; identificar la influencia de las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra sobre la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional e identificar las oportunidades de integración de las tecnologías satelitales de Observación de la Tierra en sectores productivos del país.

Para desarrollar el objetivo general y los específicos, el presente documento desarrolla cuatro capítulos que cubren estas temáticas. El Capítulo 1 describe la alineación de los objetivos del pilar “Consolidación de la Paz” del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para

Todos” (en adelante PND) con la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad (actual Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional) y el Plan Estratégico Institucional (en adelante PEI) de la Fuerza Aérea Colombiana (en adelante FAC), así mismo se identifican las áreas de la ESD en las cuales pueden ser utilizadas las tecnologías satelitales de observación de la tierra.

Con relación al Capítulo 2, éste provee una descripción de las tecnologías satelitales de observación de la tierra con aplicaciones en seguridad y defensa disponibles en el mercado mundial, que permiten fortalecer tareas como: identificación de objetivos militares, control fronterizo, administración de los activos nacionales estratégicos, identificación de nuevas actividades y comportamientos ilícitos y permite dar respuesta a los incontables requerimientos militares de inteligencia, que han generado una creciente demanda de servicios y productos satelitales. Actualmente la FAC es la encargada de adquirir a terceros los productos y servicios satelitales necesarios para dar solución a los requerimientos existentes.

Esta relación comercial con los proveedores internacionales, permite acceso a los productos finales, mas no a la transferencia de conocimiento para el desarrollo satelital, y lo más importante, impide contar con un satélite propio que permita una autonomía en cuanto a la toma de imágenes y control del sensor. De esta manera, es posible identificar que aun cuando se tiene acceso a las tecnologías satelitales, no sucede lo mismo con el conocimiento para desarrollarlas.

En el Capítulo 3 se hace un análisis de la influencia que tiene cada tecnología satelital de observación de la tierra para apoyar la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional y sus objetivos, contenidos en la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad;

finalmente hace una comparación de tecnologías, teniendo en cuenta características técnicas, de operación y de interés para el Ministerio de Defensa.

El Capítulo 4 se aparta del sector defensa, con el objetivo de identificar otras áreas de aplicación de las tecnologías satelitales de observación de la tierra, identificando sectores no militares en el país que pueden ser impulsados y apoyados por estas tecnologías; tomando como referencia la estructura espacial de un país desarrollado como los Estados Unidos y los esfuerzos realizados a nivel nacional por parte de la Comisión Colombiana del Espacio. Esto permite tener una idea general del impacto transversal del uso de estas tecnologías, que generan un valor agregado para el país, más allá de los beneficios que ofrecen para el sector defensa.

Finalmente, en las conclusiones se identifica la importancia que tienen las tecnologías satelitales de observación de la tierra para la Estrategia de Seguridad y Defensa, dando respuesta al interrogante principal planteado, al mismo tiempo se proponen recomendaciones y sugerencias que permiten generar el escenario adecuado para incorporar estas tecnologías satelitales como una capacidad estratégica nacional.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo da a conocer de una manera clara, como las tecnologías satelitales militares de observación de la tierra, contribuyen a través de las operaciones espaciales, no solo para alcanzar los objetivos de la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad, sino que apoyan de manera directa otras áreas productivas y de desarrollo del país, constituyéndose en una capacidad estratégica nacional, tanto para el sector defensa, como para los demás sectores que se benefician de los productos y servicios que de ellas se derivan.

La importancia de esta investigación radica en que la información y análisis generados,

suministran las herramientas y argumentos necesarios para que el Ministerio de Defensa a través de la Fuerza Aérea Colombiana formule un Proyecto Satelital Militar de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento, que provea al país una capacidad autónoma de Observación de la Tierra para desarrollar las Operaciones Espaciales requeridas en apoyo a las Operaciones Militares y la consecución de los objetivos establecidos por la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional.

De igual manera, la adquisición de una tecnología satelital permite apropiarse los conocimientos y experiencia necesarios para que Colombia sea artífice de su propio desarrollo espacial y apoye el de otros sectores productivos del país, como ya lo están haciendo algunos países de la región, entre ellos: Brasil, Venezuela, México, Chile, Argentina, Bolivia y próximamente Perú.

Finalmente, se ubica la presente investigación como de tipo cualitativo que se orienta en aprender de experiencias y puntos de vista de los individuos, valorar procesos y generar teorías fundamentadas en las perspectivas de los participantes" (Hernández, 2010). Para este caso, el trabajo se orientó en recopilar la información existente sobre las tecnologías satelitales de observación de la tierra con aplicación en Seguridad y Defensa, con el fin de generar un análisis que ofrece una clara visión de los beneficios que cada una de ellas aporta a la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad del Ministerio de Defensa Nacional, así como el valor agregado que generan para el desarrollo del país.

Palabras clave: Estrategia de Seguridad y Defensa, Fuerza Aérea Colombiana, Plan Nacional de Desarrollo, Ministerio de Defensa Nacional, Operaciones Espaciales, Plan Estratégico Institucional, Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad, Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra.

Capítulo 1. Áreas de la ESD en las cuales pueden ser utilizadas las TSOT

1.1. Política Integral de Seguridad y Defensa Nacional para la Prosperidad PISDP

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, se encuentra en fase de formulación, por lo cual aún se mantiene vigente el Plan Nacional de Desarrollo PND 2010-2014 Prosperidad para Todos, que contempla ocho pilares u objetivos nacionales, a través de los cuales se pretende construir el camino hacia la prosperidad y el desarrollo del pueblo colombiano.

“Para diseñar y seguir esta hoja de ruta, hemos identificado ocho grandes pilares que se resumen en la figura 1. Estos son: convergencia y desarrollo regional, crecimiento y competitividad, igualdad de oportunidades, consolidación de la paz, innovación, sostenibilidad ambiental, buen gobierno y relevancia internacional.” (Congreso de Colombia, 2010)

Con referencia al Ministerio de Defensa, el cual tiene la responsabilidad de establecer la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional, se le asignó el objetivo nacional de “Consolidación de la Paz”, así como el fortalecimiento de las capacidades estratégicas de la Nación.

“La prosperidad para todos, principio fundamental del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, solo se alcanza garantizando la prevalencia del Estado de Derecho en todo el territorio. Lo anterior implica consolidar la seguridad, garantizar la observancia plena de los derechos humanos, y proveer un sistema de justicia pronto y eficaz.” (Congreso de Colombia, 2010)

El pilar “Consolidación de la Paz” establece cinco lineamientos estratégicos: seguridad y orden público, consolidación de fronteras, capacidades estratégicas, seguridad ciudadana y lucha contra los grupos armados y el crimen organizado (Congreso de Colombia, 2010).

Figura 2. Objetivos PISDP (Ministerio de Defensa Nacional, 2011)

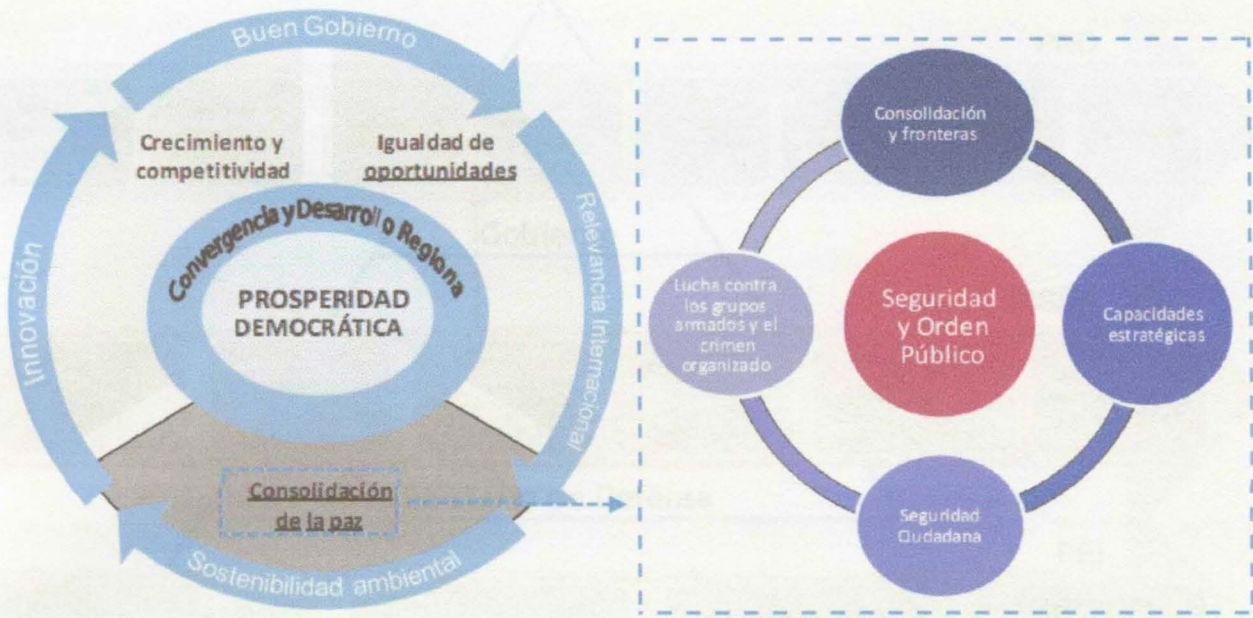


Figura 1. Consolidación de la Paz y lineamientos estratégicos (Congreso de Colombia, 2010)

Estos lineamientos estratégicos, son los parámetros sobre los cuales el Ministerio de Defensa formuló la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad, que establece seis objetivos específicos alineados con el pilar nacional “Consolidación de la Paz”.

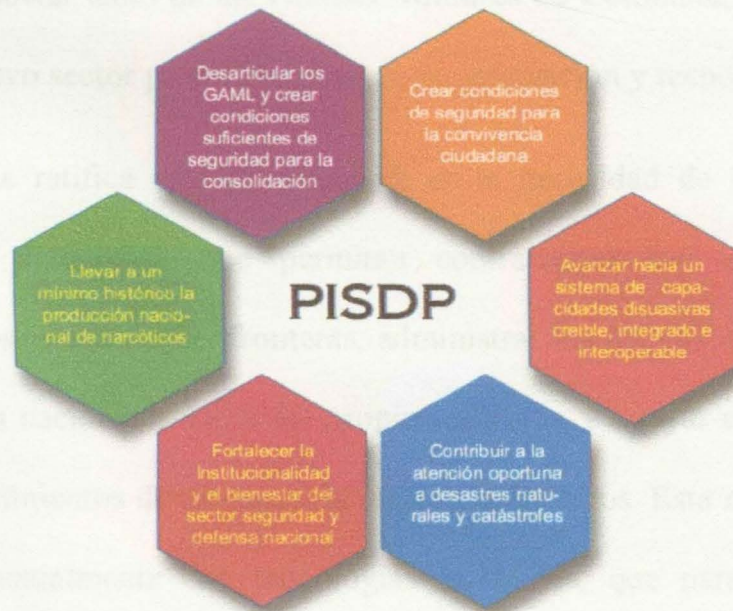


Figura 2. Objetivos PISDP (Ministerio de Defensa Nacional, 2011)

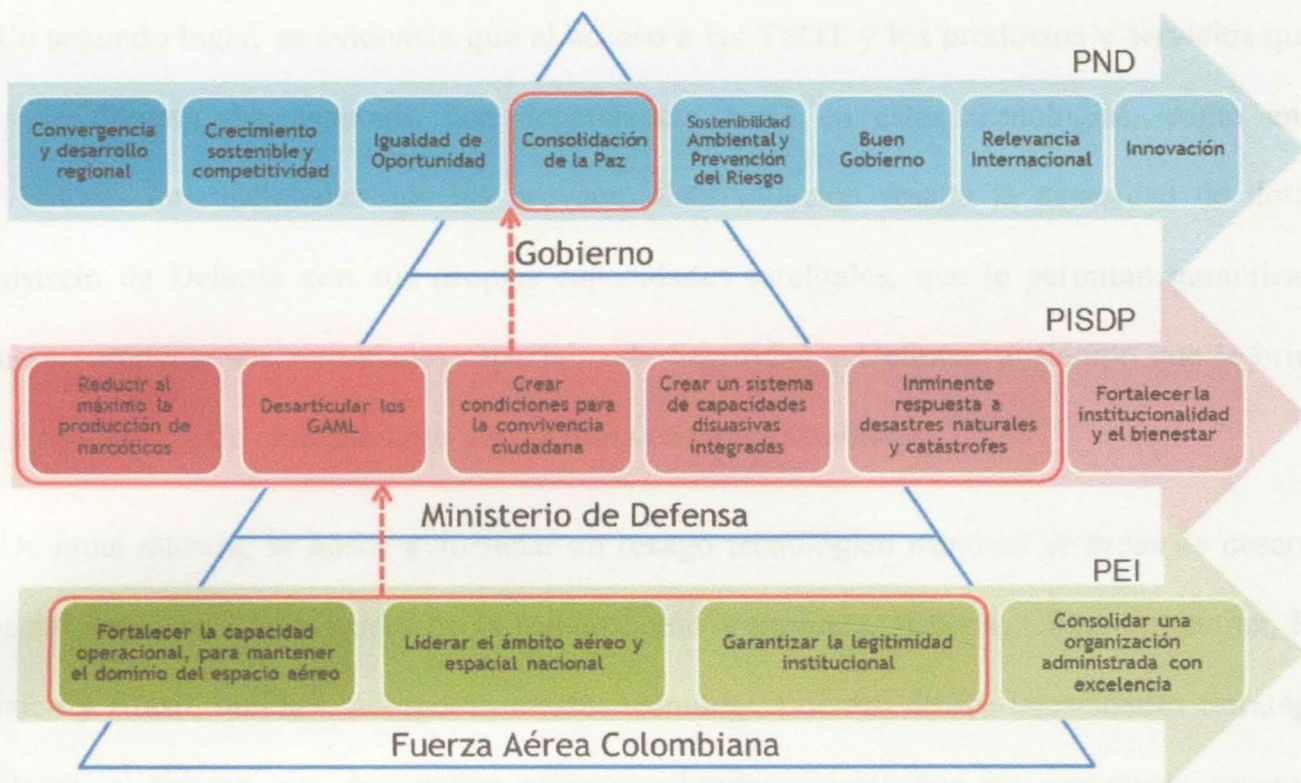


Figura 3. Alienación de objetivos del PND, PISDP y PEI FÁC (Quiroga, 2014)

Teniendo como base este pilar nacional, el Ministerio de Defensa tiene la oportunidad de liderar el desarrollo espacial tanto de las Fuerzas Militares de Colombia, como del país, con el fin de consolidar un nuevo sector productivo basado en innovación y tecnología.

El primer factor que ratifica esta oportunidad, es la necesidad de fortalecer los actuales niveles de seguridad y defensa que permitan contrarrestar las actividades ilegales y comportamientos ilícitos, controlar las fronteras, administrar los activos nacionales estratégicos, monitorear los intereses nacionales fuera del propio territorio, y apoyar el flujo de información que satisfaga los requerimientos de inteligencia militar, entre otros. Esta necesidad de productos y servicios se suplente actualmente con tecnologías satelitales, que para el caso colombiano administra la Fuerza Aérea Colombiana, proveyendo la solución a los requerimientos existentes tanto del estamento militar como de organizaciones que no hacen parte del sector defensa.

En segundo lugar, se evidencia que el acceso a las TSOT y los productos y servicios que de ellas se derivan, ha generado una dependencia tanto en estas tecnologías, como en los proveedores internacionales que las proveen. Esta situación resalta la necesidad de dotar al Ministerio de Defensa con sus propias capacidades satelitales, que le permitan garantizar de manera autónoma sus actividades espaciales de Seguridad y Defensa, al tiempo que le brinden una transferencia de conocimiento y tecnología en temas satelitales.

De igual manera, se puede evidenciar un rezago tecnológico nacional en áreas de desarrollo espacial comparado con países de la región como Venezuela, Bolivia, Chile, Argentina, Perú, México y Brasil, quienes incorporaron estas tecnologías dentro de sus capacidades estratégicas militares, al tiempo que desarrollan proyectos interagenciales que les garantizan recursos y participación fuera del marco del sector defensa. Es importante mencionar que las TSOT y los productos y servicios que de ellas se derivan, se evidencian día tras día como herramientas tecnológicas fundamentales para el sostenimiento de la Seguridad y Defensa a nivel mundial y permiten desarrollar nuevas áreas comerciales, de emprendimiento e innovación para un país. (spacesecurity.org, 2012)

Con relación a los anteriores planteamientos, se podría argumentar que no es necesario establecer un desarrollo espacial nacional para acceder a los productos y servicios derivados de las TSOT, ya que para contrarrestar las actividades ilegales evidenciadas en el país, ya existe una capacidad satelital alcanzada por intermedio de la Fuerza Aérea Colombiana, que gestiona la adquisición de imágenes desde el espacio y genera productos finales para dar respuesta a los requerimientos tanto en materia de Seguridad y Defensa, como de las entidades diferentes al sector defensa que hacen uso de la misma información tecnológica. Al mismo tiempo, al no

existir esta necesidad de incursionar en el ámbito espacial, se elimina la necesidad de desarrollar comercialmente este sector, prescindiendo del elevado costo de inversión que esto supone.

Las anteriores afirmaciones quedan sin peso, teniendo en cuenta que no es el acceso a la adquisición de productos generados por las tecnologías espaciales lo que se debe garantizar, sino la autonomía para controlar de manera autónoma un satélite de observación de la tierra por parte del Estado Colombiano, aspecto que no puede tener limitaciones; al contrario, se debe contar con la capacidad de acceder de manera constante a los servicios provistos por un satélite de este tipo. Por otra parte, es necesario resaltar que el desarrollo espacial está asociado a nivel mundial con indicadores de desarrollo tecnológico de los países, que garantiza la creación de un nuevo sector industrial y un área de conocimiento para las nuevas generaciones.

En concordancia con lo anterior, se hace necesario que el Estado Colombiano defina una política espacial sólida para garantizar la sostenibilidad de una iniciativa de esta magnitud. Es tal vez este aspecto, la piedra angular del desarrollo espacial colombiano, convirtiéndose en una oportunidad para que la rama ejecutiva del poder público sea garante del desarrollo espacial nacional, rompiendo la barrera tecnológica que tiene al país rezagado frente a potencias regionales como Brasil, Argentina o México, fortaleciendo el pilar nacional de Relevancia Internacional, al tiempo que estimula actividades de innovación, crecimiento y competitividad.

Por lo anterior, se puede identificar que el Ministerio de Defensa tiene la oportunidad de generar una nueva área de desarrollo tecnológico tanto para las Fuerzas Militares, como para el país, basado en innovación y tecnología, ya sea con las condiciones actuales o en un potencial escenario de post-conflicto. Esta nueva área de desarrollo permitiría fortalecer las capacidades estratégicas en materia de Seguridad y Defensa, coadyuvando al logro del objetivo nacional de “Consolidación de la Paz” y apoyando al Gobierno Nacional en la consecución de los demás

objetivos planteados en el Plan Nacional de Desarrollo, integrándose de esta manera como una herramienta fundamental para el desarrollo del país.

1.2. Áreas de la PISDP en las cuales pueden ser utilizados las TSOT

Teniendo en cuenta sus características técnicas y los productos que generan las tecnologías satelitales de observación de la tierra con aplicaciones en la Seguridad y Defensa, se adelanta un análisis de las TSOT, con el fin de identificar el impacto que estas tienen sobre los objetivos y estrategias de la PISDP. En la tabla 1 se aprecia que las TSOT generan un impacto positivo en los 6 objetivos de la PISDP y sobre 17 de las 20 estrategias que soportan el logro de estos objetivos; así mismo no tienen la capacidad de influenciar 3 de las 20 estrategias de la PISDP, las cuales se encuentran resaltadas en rojo. Una explicación detallada de cada TSOT con relación a los objetivos y estrategias se detalla a continuación.

OBJETIVOS	ESTRATEGIAS			
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar los cultivos ilícitos	Fortalecer las capacidades de interdicción	Desarticular las bandas criminales	
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia desarticulando los GAML	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	Fortalecer la acción integral
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	Desarticular las organizaciones delincuenciales	Fortalecer la investigación criminal	
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema integrado de defensa	Incrementar la cooperación internacional	Implementar un programa de ciberseguridad y ciberdefensa	
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	Promulgar una política sectorial	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	Alcanzar un GSED competitivo	Avanzar en una estrategia de bienestar para la FP

Tabla 1. Objetivos y estrategias de la PISDP no influenciados por las TSOT (Ministerio de Defensa Nacional, 2011)

El objetivo No. 1 “Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos” tiene tres estrategias como son: erradicar los cultivos ilícitos, fortalecer las capacidades de interdicción y desarticular las bandas criminales. Para este objetivo, las TSOT proveen productos o servicios que aportan información valiosa para disminuir los tiempos de logro de los objetivos, ciclos de procesamiento de datos, aporte de pruebas judiciales y periodos constantes de revisita sobre las áreas de interés, entre otras capacidades.

El objetivo No. 2 “Desarticular los grupos al margen de la ley y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación” tiene cuatro estrategias como son: acabar con la violencia desarticulando los grupos al margen de la ley, integrar y adaptar los esquemas de seguridad, implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza y fortalecer la acción integral. Este objetivo y sus estrategias se nutren de la información y datos provistos por las TSOT para desarrollar los planes que soportan cada una de las estrategias, aportando información en tiempo real o con mínimo de retardo, al tiempo que elimina las restricciones aeronáuticas como tiempo de vuelo de los pilotos, autonomía de las aeronaves, rango de acción o exposición a malas condiciones meteorológicas y los riesgos adicionales inherentes al vuelo tripulado, garantizando la capacidad de cubrir la totalidad del territorio nacional y las áreas vecinas en un corto tiempo.

El objetivo No. 3 “Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana” tiene tres estrategias como son: fortalecer el control policial, desarticular las organizaciones delincuenciales y fortalecer la acción integral. Este objetivo puede recibir apoyo constante de las TSOT en cuanto a inteligencia, reconocimiento y vigilancia de las áreas críticas y objetivos que sean identificados como de interés, manteniendo un esfuerzo de búsqueda de información que soporta las investigaciones policiales y judiciales con el objetivo de apoyar el mejoramiento

constante de los índices de seguridad ciudadana.

El objetivo No. 4 “Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable” tiene tres estrategias como son: diseñar e implementar un sistema integrado de defensa, integrar la cooperación internacional e implementar un programa de ciberseguridad y ciberdefensa. Este objetivo se afecta positivamente en sus dos primeras estrategias, en las cuales el concepto de capacidad disuasiva e interoperable se aplica plenamente, ofreciendo las TSOT soluciones comunes a las Fuerzas Militares y Policía Nacional; en cuanto a la estrategia de implementar un programa de ciberseguridad y ciberdefensa, las TSOT obran como actor de este programa, más estas tecnologías no aportan significativamente al desarrollo del mismo.

El objetivo No. 5 “Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes” tiene tres estrategias como son: crear una instancia de respuesta sectorial, promulgar una política sectorial y estabilizar y asegurar áreas afectadas. Las estrategias de este objetivo son las más desarrolladas en el escenario mundial, las TSOT tienen la capacidad de soportar los planes de prevención, contención y administración del riesgo o catástrofes de manera precisa a través de modelos tecnológicos establecidos para tal fin, permitiendo satisfacer la necesidad de anticipar tanto las eventualidades potenciales a suceder como la creación de los planes de contingencia a desarrollar en caso de que un riesgo se convierta en realidad, para finalmente apoyar la gerencia y conducción de los mencionados planes, una vez suceda el desastre.

El objetivo No. 6 “Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional” tiene cuatro estrategias como son: modernizar la gestión sectorial, impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación, avanzar un GSED competitivo y avanzar en una estrategia de bienestar para la fuerza pública. En cuanto a este objetivo las TSOT afectan positivamente e

impulsan las estrategias de impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación y avanzar un GSED competitivo; la primera estrategia se desarrolla a través de los convenios offset y de la formulación de proyectos de ciencia y tecnología derivados de la tecnología espacial y satelital, en cuanto a la segunda estrategia, esta se logra a través de la comercialización de los productos y servicios que generan las TSOT y que son materia prima para organizaciones gubernamentales y privadas que hacen uso de estas tecnologías mediante proveedores internacionales. Las dos restantes estrategias no se ven afectadas por las tecnologías satelitales de observación de la tierra.

- **Orbita mecánica:** Las órbitas satelitales deben seguir ciertos patrones orbitales debido a las leyes de la física. Las operaciones de lanzamiento pueden ser complejas y costosas. La elección de un período orbital de un satélite requiere una cuidadosa consideración, ya que puede significar la reducción de la vida útil del sistema satelital.
- **Consideraciones ambientales:** El ambiente espacial es un factor que limita cada aspecto de diseño de un satélite o un cualquier objeto en uso operacional en el espacio. El ambiente espacial incluye radiación, vacío, temperaturas extremas y otros factores que pueden afectar el funcionamiento de un satélite.
- **Dependencia del espectro electromagnético:** Los satélites espaciales dependen del espectro electromagnético, ya que es el medio de transmisión y recepción de información y comunicaciones. Las frecuencias electromagnéticas de los sistemas espaciales son fijas y no pueden ser cambiadas después del lanzamiento. Por lo tanto, es de vital importancia el control y libertad de uso del mismo. (Article XXIV of the United States, 2013)

Capítulo 2. TSOT con aplicaciones en Seguridad y Defensa

2.1. Características del ambiente espacial

El ambiente espacial tiene características únicas que tienen impacto en las operaciones espaciales. Estas características incluyen:

- **Inexistencia de límites geográficos:** La ley internacional no concede soberanía territorial a las naciones sobre las orbitas de la tierra. Los satélites sobrevuelan las naciones en el espacio sin una autorización, como si es requiera para los aviones.
- **Orbitas mecánicas:** Las orbitas satelitales deben seguir ciertos parámetros orbitales debido a las leyes de la física. Los operadores de satélites pueden tan solo en limitadas circunstancias cambiar un parámetro orbital de un satélite, sacrificando combustible, lo cual puede significar la reducción de la vida útil del sistema satelital.
- **Consideraciones ambientales:** El ambiente espacial es un factor que limita cada aspecto de diseño de un satélite o de cualquier objeto de uso operacional en el espacio, afectando su tamaño, peso, fuente de energía y vida útil.
- **Dependencia del espectro electromagnético:** Los activos espaciales dependen del espectro electromagnético, ya que es el único medio de transmisión y recepción de información y señales. Las frecuencias electromagnéticas de los sistemas espaciales son fijas y no pueden ser cambiadas después del lanzamiento. Por lo anterior es de vital importancia el control y libertad de uso del mismo (Armed Forces of the United States, 2013).

2.2. Leyes de Kepler

El astrónomo alemán Johannes Kepler es conocido, sobre todo, por sus tres leyes que describen el movimiento de los planetas en sus órbitas alrededor del Sol. Las leyes de Kepler fueron el fruto de la colaboración con el gran astrónomo observador Tycho Brahe, quien había confeccionado las tablas astronómicas más precisas de la época. Kepler no comprendió el origen de sus leyes que tan bien describían tanto el movimiento de los planetas, como el de otros cuerpos astronómicos, entre ellos el sistema Tierra-Luna. Sería Newton quien extraería toda la información de las leyes de Kepler, permitiéndole así enunciar la Ley de la Gravitación Universal (elmundo.es Ciencia, 2014). Las leyes de Kepler son:

- Primera Ley (1609): Los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas, estando el Sol situado en uno de los focos.
- Segunda Ley (1609): El radio vector que une el planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.
- Tercera Ley (1619): Para cualquier planeta, el cuadrado de su período orbital (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol) es directamente proporcional al cubo de la distancia media con el Sol.

Kepler no presentó sus leyes en forma limpia y concisa, sino en libros que contenían gran cantidad de detalles e incluso especulaciones metafísicas. Correspondió a Isaac Newton extraer las leyes de sus escritos, y relacionarlas con sus propios descubrimientos, dándole sentido físico a lo que eran simplemente leyes empíricas. En particular, entendiendo que su 3ª ley estaba relacionada con esta III de Kepler (Enciclopedia Libre Universal en Español, 2014), donde:

- P = Periodo orbital en años
- a = semieje mayor, en unidades astronómicas (UA)
- G = Constante gravitatoria universal
- m_1 = masa de objeto 1
- m_2 = masa de objeto 2

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)} a^3$$

2.3. Regiones del espectro electromagnético

Desde el punto de vista de la teledetección, se debe mencionar algunas bandas espectrales que son las más frecuentemente empleadas con la tecnología actual. Su denominación y amplitud varía según distintos autores, siendo la terminología más común la siguiente (Chuvienco, 2010):

- Espectro visible (0,4 a 0,7 micrómetros). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir el ojo humano. Suelen distinguirse tres bandas elementales que son: Azul (A: 0,4 a 0,5 micrómetros), Verde (V: 0,5 a 0,6 micrómetros) y Rojo (0,6 a 0,7 micrómetros), en razón a los colores primarios.
- Infrarrojo cercano (IRC: 0,7 a 1,2 micrómetros). También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo medio. En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Se conoce como infrarrojo de banda corta (Short Wave Infrared SWIR) que se sitúa entre 1,2 y 2,5 micrómetros y resulta una región idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda banda de interés está ubicada en entre 2,5 y 8 micrómetros y suelo denominarse como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la identificación de focos de alta temperatura (incendios y volcanes activos) y estimación de algunos gases atmosféricos.

- Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14 micrómetros). Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayoría de las cubiertas terrestres.
- Microondas (M, por encima de un milímetro). Son de gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

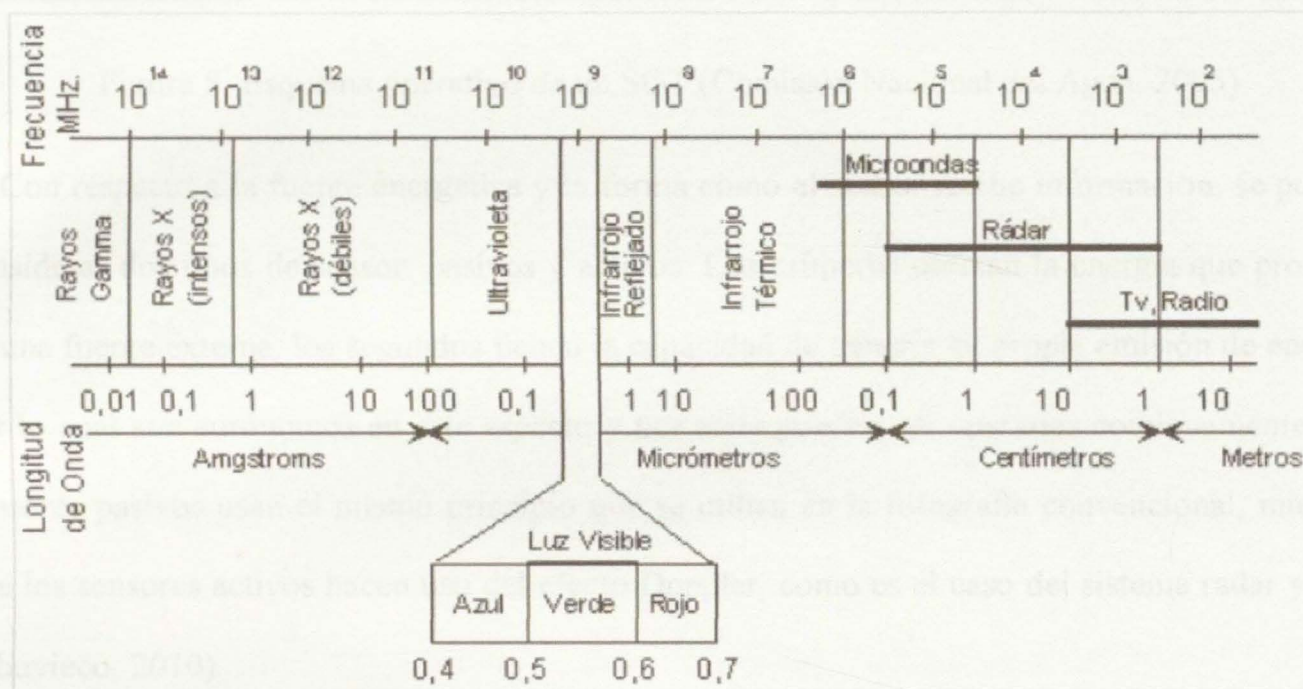


Figura 4. Espectro electromagnético (Universidad Nacional de Comahue, 2011)

2.4. Características técnicas de los Satélites de Observación de la Tierra

La teledetección se define formalmente como la adquisición de información relativa a un objeto; a través de instrumentos que se encuentran alejados del objeto a analizar. En el contexto espacial, el instrumento es un sensor ubicado en un satélite, mientras que el objeto es la superficie de la tierra (Deimos, 2014). La teledetección realizada por los sistemas satelitales de observación de la tierra se fundamenta en tres componentes principales: fuente energética, área de toma, y el sensor a bordo (Chuvieco, 2010).



Figura 5. Esquema operativo de un SOT (Comisión Nacional del Agua, 2005)

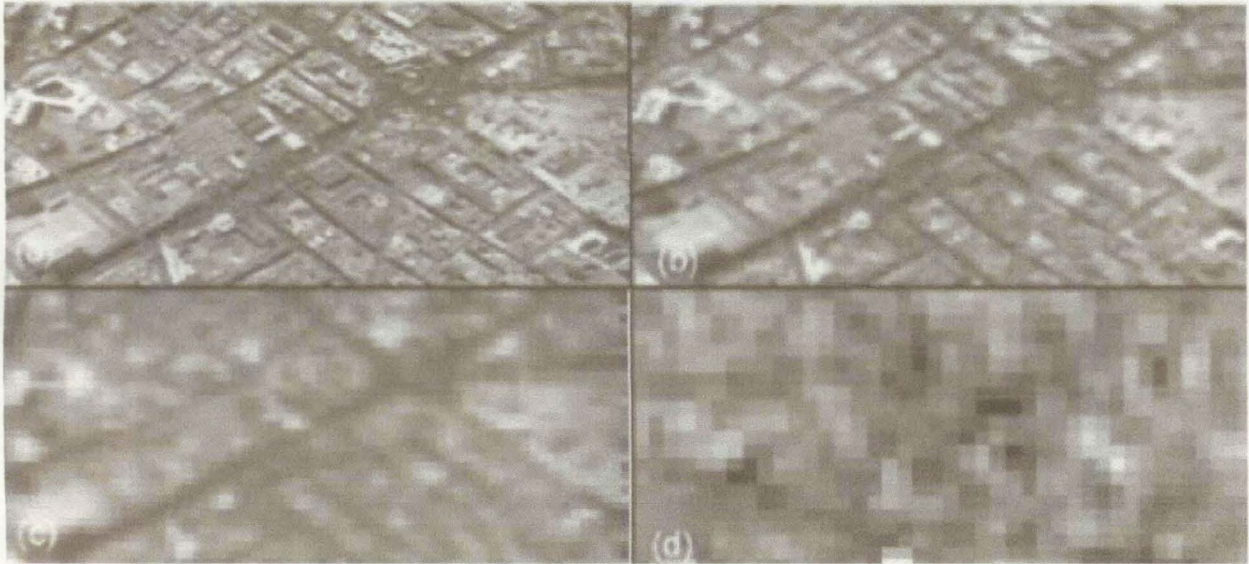
Con respecto a la fuente energética y la forma como el sensor recibe información, se pueden considerar dos tipos de sensor: pasivos y activos. Los primeros utilizan la energía que proviene de una fuente externa, los segundos tienen la capacidad de generar su propia emisión de energía, por lo cual son autónomos en este aspecto y por ende pueden ser operados continuamente. Los sensores pasivos usan el mismo principio que se utiliza en la fotografía convencional, mientras que los sensores activos hacen uso del efecto Doppler, como es el caso del sistema radar y lidar (Chuvieco, 2010).

Existen algunas características esenciales a considerar en los sistemas satelitales de observación de la tierra, que son fundamentales a la hora de entender los beneficios y aplicaciones que provee una determinada tecnología con respecto a la otra. Dentro de las características principales a tener en cuenta se puede mencionar la resolución espacial, espectral, radiométrica, temporal y angular (Chuvieco, 2010).

2.4.1. Resolución espacial

Entendida como la capacidad de identificar el objeto más pequeño dentro de una imagen, se entiende como la mínima separación en la cual los objetivos aparecen distintos. Normalmente se mide en milímetros, centímetros o metros, tiene relación directa con el ángulo de visión del

sensor, su altura sobre la superficie de la tierra, velocidad del escaneo y las características ópticas del sensor (Deimos, 2014). Respecto a los actuales rangos de resolución espacial de los sensores a bordo de los Satélites de Observación de la Tierra, se puede apreciar en la figura No. 6, las principales resoluciones espaciales y su aplicación.



(a) 1m, (b) 5 m, (c) 10 m, (d) 30 m

Figura 6. Distintos rangos de resolución espacial (Escorcia, 2011)

Debido al desarrollo de las tecnologías espaciales, las imágenes de alta resolución están cada vez más disponibles, permitiendo ampliar constantemente las aplicaciones que se realizan con las mismas. La resolución espacial está estrechamente ligada al análisis que se puede realizar en una imagen, teniendo en cuenta que a mayor nivel de detalle, se pueden lograr mejores interpretaciones de las mismas.

2.4.2. Resolución espectral

Hace referencia al número de canales y ancho de bandas espectrales que puede captar el sensor (Deimos, 2014). Esta característica es de especial importancia, debido a la necesidad de contar con información multispectral (información en diferentes bandas del espectro). En

consecuencia, permite afirmar que entre más bandas espectrales pueda cubrir un sensor, los análisis serán más precisos, especialmente cuando la frecuencia de las bandas espectrales es muy cercana, logrando obtener información detallada de un segmento específico del espectro.

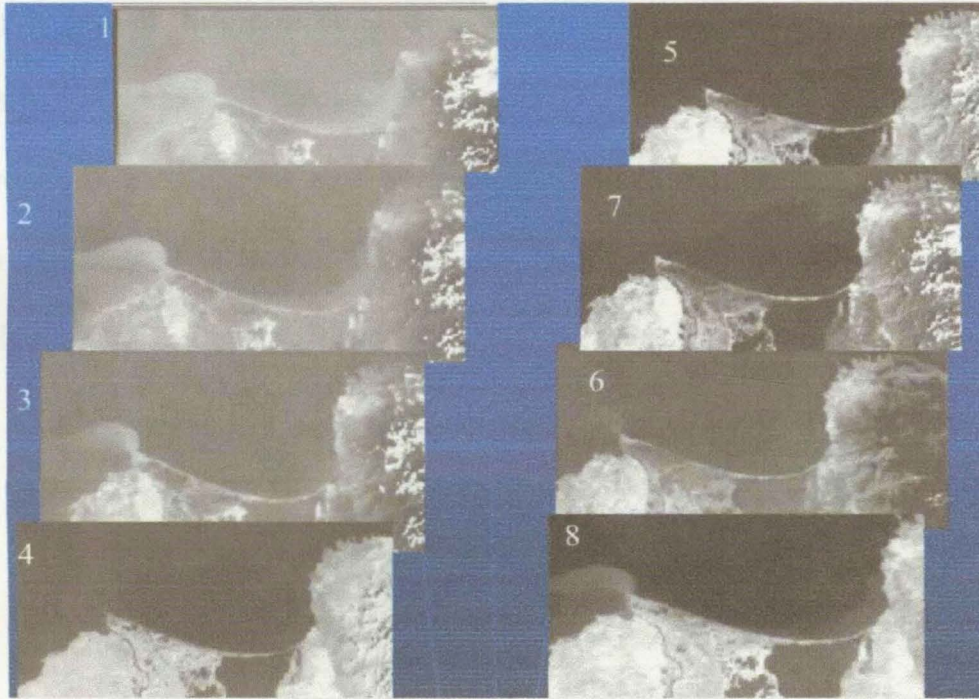


Figura 7. Distintos rangos de resolución espectral (Escorcia, 2011)

Dentro de los sensores instalados en los satélites de observación de la tierra, se identifica que la tecnología de radar y electro-óptica cuentan con la menor resolución espectral, teniendo en cuenta que el radar trabaja en un solo canal; en el caso de los sensores ópticos, estos proveen imágenes pancromáticas, infrarrojas (blanco y negro), de color natural o infrarrojo en color. Por otro lado, los sensores electro-ópticos permiten obtener información de una mayor cantidad de bandas espectrales, como sucede con el sensor Hyperion, del satélite EO-1, que posee 220 bandas espectrales (USGS, 2014). Anteriormente los sensores de múltiples bandas espectrales correspondían a equipos aerotransportados, pero desde hace unos pocos años se encuentran en el espacio, permitiendo un análisis mucho más amplio y con cobertura global (Chuvienco, 2010).

2.4.3. Resolución radiométrica

Considera la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiación espectral que reciben, para el caso de las imágenes, esta se percibe en los diferentes niveles de grises alcanzados, entre mayor número de grises, mayor será el nivel de detalle. La resolución radiométrica es utilizada para el análisis e interpretación de las imágenes, especialmente cuando se utiliza el procesamiento digital, que permite un análisis mucho más detallado, ya que existe una limitación asociada a la capacidad del ojo humano para identificar tonalidades de gris. (Chuvieco, 2010)

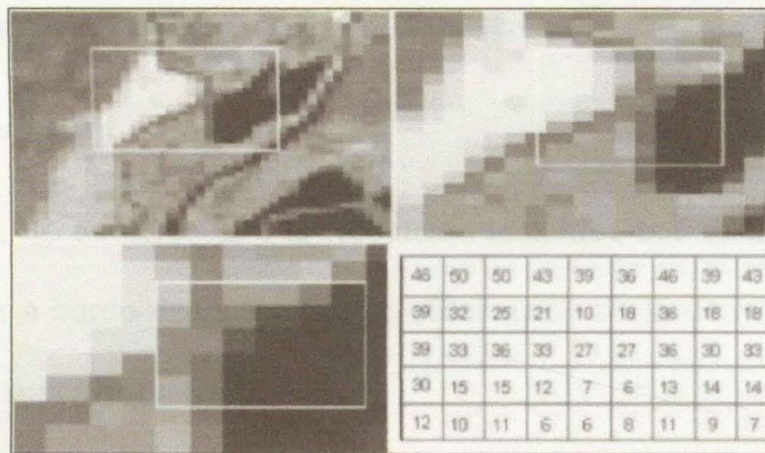


Figura 8. Distintos rangos de resolución radiométrica (Escorcia, 2011)

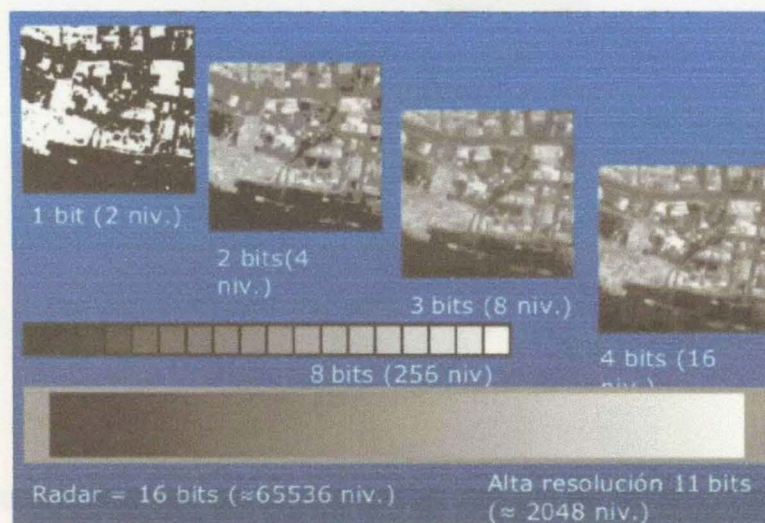


Figura 9. Ejemplos de distintos rangos de resolución radiométrica (Escorcia, 2011)

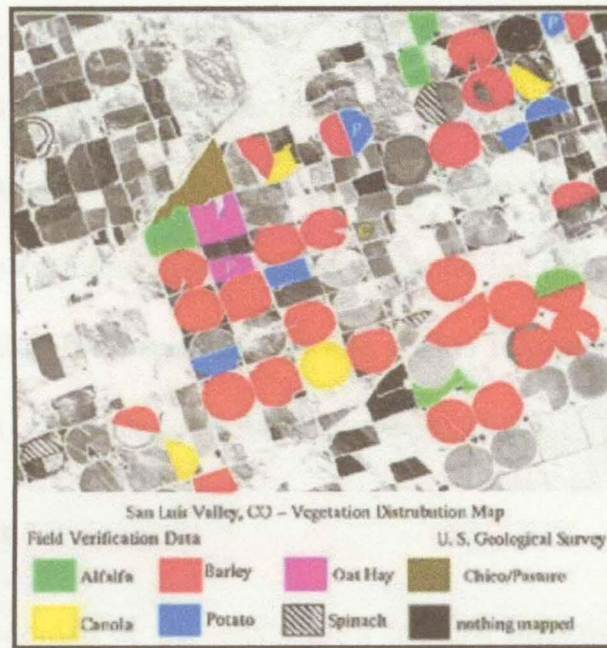


Figura 10. Ejemplo de distintos rangos de resolución radiométrica (Escorcía, 2011)

2.4.4. Resolución temporal

Otra característica, hace referencia a la resolución temporal, que se traduce en la frecuencia con la cual un sensor a bordo de un satélite de observación de la tierra puede orbitar sobre la misma posición de la superficie terrestre.

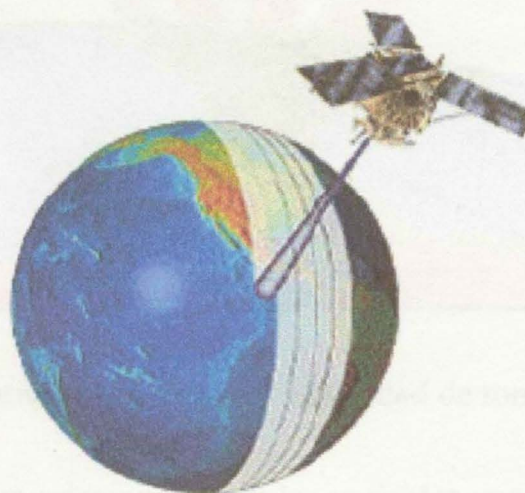


Figura 11. Ejemplo de resolución temporal (Centro de Investigación en Geografía y Geomática

"Ing. Jorge L. Tamayo", 2014)

La resolución temporal está asociada tanto a las características orbitales del satélite que contiene el sensor, como a las mismas características de sensor, principalmente en relación al tamaño de la imagen y ángulo de cobertura. El concepto de resolución temporal no hace referencia a los factores que condicionan la adquisición de las imágenes, como son los factores meteorológicos, por lo cual cobra especial vigencia en los tiempos de revisita, la capacidad de adquisición de información de manera oblicua (Chuvieco, 2010).

2.4.5. Resolución angular

Hace referencia a la capacidad de un sensor para adquirir información de un mismo punto de la superficie terrestre desde diferentes ángulos, los satélites de observación de la tierra modernos cuentan con un control multiangular, que permite capturar imágenes desde diferentes ángulos (Chuvieco, 2010).

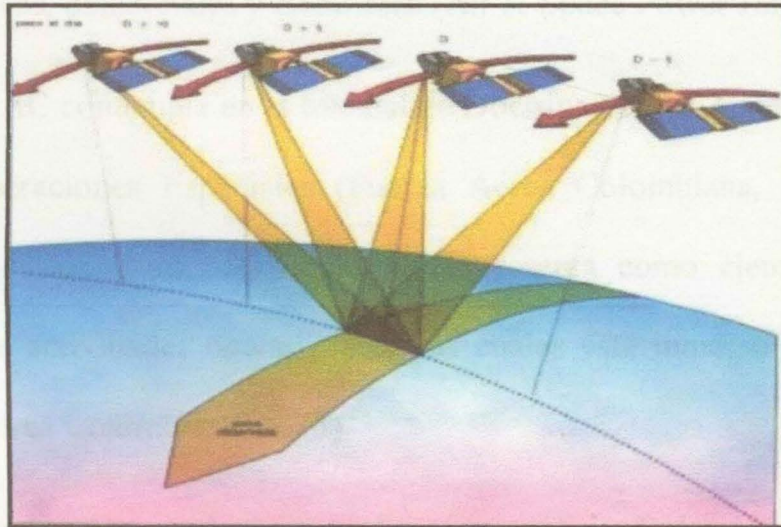


Figura 12. Gráfica explicativa de satélite con capacidad de toma angular (Escorcía, 2011)

Desafortunadamente, existen relaciones entre las variables que benefician unas con respecto a las otras. Por ejemplo a mayor resolución espacial, menor resolución temporal, espectral y menor cobertura de superficie.

2.5. Satélites de Observación de la Tierra con aplicaciones en Seguridad y Defensa

Las capacidades espaciales han demostrado su importancia como multiplicadoras de las fuerzas, cuando son integradas dentro de las operaciones militares. Proveen comunicaciones globales; posicionamiento, navegación y precisión; monitoreo ambiental; inteligencia, vigilancia y reconocimiento; y alertas tempranas a los comandantes militares. Así mismo, han evolucionado constantemente, registrando mejoras que han conducido a desarrollar sistemas espaciales más avanzados, estas capacidades han cambiado la forma como los comandantes a todos los niveles perciben el uso de las mismas (Armed Forces of the United States, 2013).

De manera similar a como se visionó el poder aéreo posterior a la Primera Guerra Mundial, no hay duda que las actuales capacidades espaciales proveen un alto valor agregado para magnificar el empleo de la fuerza. Desde una perspectiva nacional, los sistemas espaciales proveen capacidades económicas, comerciales y científicas (Air & Space Power Journal, 2006).

En Colombia, la FAC contempla en el Manual de Doctrina Básica Aérea y Espacial MADBA, el desarrollo de Operaciones Espaciales (Fuerza Aérea Colombiana, 2013), así mismo el Departamento de Asuntos Espaciales de la FAC presenta como ejemplos de Operaciones Espaciales, diferentes actividades operativas en las cuales está inmerso el uso de tecnologías espaciales (Fuerza Aérea Colombiana, 2013).

Los anteriores argumentos conducen a realizar un análisis de las tecnologías satelitales de observación de la tierra que apoyan la consecución de los objetivos contemplados en la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad del Ministerio de Defensa Nacional, dando soporte a los requerimientos que plantean los comandantes militares en los diferentes niveles de la guerra.

Los satélites de observación de la tierra, llamados en el ámbito militar de inteligencia, vigilancia y reconocimiento, tienen como fin adquirir imágenes en alta resolución y datos de áreas de interés para las fuerzas amigas, realizando seguimientos e identificación de instalaciones militares o críticas, actividades, posiciones de tropas enemigas y cualquier otro tipo de información. Pueden obtener imágenes y datos con diferentes características, según los sensores que se utilicen, mientras orbitan la tierra (Agraval, 2011). Estos satélites están diseñados para proveer una búsqueda constante de información, atendiendo características tales como resolución espacial, espectral, radiométrica, temporal y angular, así como el sensor a bordo y la órbita de vuelo.

De igual manera, es difícil seleccionar la tecnología satelital de observación de la tierra más apropiada para satisfacer las necesidades de Seguridad y Defensa Nacional de un país, para lo cual se deben considerar diversos parámetros como: condiciones atmosféricas predominantes, tipo de terreno, productos requeridos y presupuesto, entre otros factores; siempre teniendo como premisa que con un solo tipo de tecnología satelital no es posible cumplir todos los requerimientos militares. Así mismo, es posible encontrar satélites de observación de la tierra con diferentes tipos de características, los cuales pueden ser empleados tanto para aplicaciones militares como civiles. (Agraval, 2011)

Los satélites de observación de la tierra generalmente son ubicados en órbitas polares bajas, en altitudes entre los 500 a los 3.000 km sobre la superficie de la tierra, usualmente la resolución espacial de las imágenes provistas, está en el orden de unos pocos centímetros (Agraval, 2011) y pueden clasificarse en satélites de tecnologías óptico-electrónicas, infrarrojas, radar y lidar.

2.5.1. SOT de imágenes electro-ópticas (SIEO)

Los satélites de imágenes electro-ópticas adquieren información en el espectro visible y bandas de infrarrojo cercano y de onda corta para formar imágenes de la superficie de la tierra. Las imágenes son formadas debido a la detección de la radiación solar reflejada por los objetos en tierra y direccionadas a los sensores (similar a un espejo).



Figura 13. Imagen satelital bunker Osama Bin Laden (Satellite Imaging Corporation, 2011)

Los satélites electro-ópticos son considerados como sensores remotos pasivos que únicamente trabajan en el día, ya que dependen de la iluminación solar, así como de las condiciones meteorológicas. Proveen una imagen de alta resolución para lo cual utilizan sensores que asignan valores digitales numéricos que representan las variaciones en los niveles de luz en la imagen. A través del uso de técnicas de mejoramiento digital se pueden corregir las imágenes y algunos desperfectos de las mismas. La información digital es luego transmitida a una estación en tierra mediante comunicación electrónica y almacenada en un servidor (Agraval, 2011).

En la tabla 2 se identifican los objetivos y estrategias de la PISDP que los satélites de observación de la tierra de imágenes electro-ópticas pueden afectar de manera directa y positiva.

Objetivos Estratégicos	Estrategia General Objetivos Específicos	SIEO
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar cultivos ilegales	X
	Fortalecer las capacidades de interdicción	X
	Desarticulación de las BACRIM	X
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia, desarticulando los GAML	X
	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	X
	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	X
	Fortalecer la acción integral	X
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	X
	Desarticular las organizaciones delincuenciales	X
	Reforzar la investigación criminal	X
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema de defensa integrado, flexible y sostenible	X
	Incrementar la cooperación tanto a nivel regional como internacional	X
	Implementar un programa de Ciberseguridad y Ciberdefensa	
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	X
	Establecer una política de atención a desastres naturales y catástrofes	X
	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	X
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial	
	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	X
	Alcanzar un GESD competitivo	X
	Avanzar en una estrategia de bienestar para los miembros de la fuerza pública	

Tabla 2. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT electro-ópticos (Quiroga, 2014)

2.5.2. SOT de imágenes infrarrojas (SIIR)

Los satélites de imágenes infrarrojos emplean los anchos de banda de medio y largo infrarrojo. Las imágenes son recolectadas de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra y los objetos. Teniendo en cuenta que cada parte de la tierra tiene diferente temperatura, las imágenes térmicas proveen información con base en esa temperatura emitida, tanto en tierra como en fuentes de agua y los objetos contenidos dentro y sobre ellas. Los sensores térmicos infrarrojos son considerados sensores remotos pasivos.

La tecnología de satélites infrarrojos trabaja midiendo la temperatura de radiación infrarroja emitida por los objetos hacia la atmosfera. Básicamente todos los objetos (incluyendo agua, tierra y nubes) irradian luz infrarroja; sin embargo, el ojo humano no puede ver este tipo de luz. Los satélites de observación de la tierra infrarrojos pueden sensar esta radiación infrarroja y la temperatura de las emisiones. Las emisiones más calientes son representadas por grises oscuros en la imagen satelital infrarroja, mientras que las emisiones más frías por blancos brillantes.

Los satélites de observación de la tierra de imágenes infrarrojas trabajan tanto de día como de noche, ya que no usan la radiación solar, pero sufren de una desventaja que los limita como son las condiciones meteorológicas (Agraval, 2011).

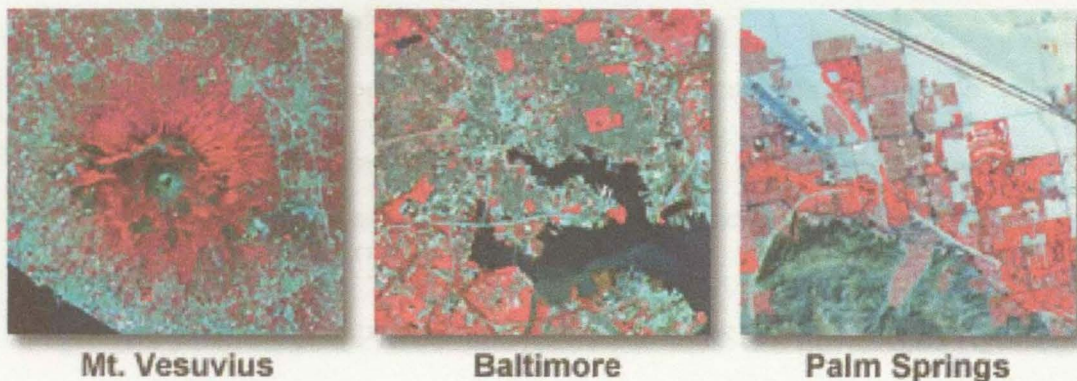


Figura 14. Imágenes satelitales infrarrojas (Olympus, 2014)

En la tabla 3 se identifican los objetivos y estrategias de la PISDP que los satélites de observación de la tierra de imágenes infrarrojas pueden afectar de manera directa y positiva.

Objetivos Estratégicos	Estrategia General Objetivos Específicos	SIIR
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar cultivos ilegales	X
	Fortalecer las capacidades de interdicción	X
	Desarticulación de las BACRIM	X
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia, desarticulando los GAML	
	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	
	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	
	Fortalecer la acción integral	X
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	
	Desarticular las organizaciones delincuenciales	
	Reforzar la investigación criminal	
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema de defensa integrado, flexible y sostenible	X
	Incrementar la cooperación tanto a nivel regional como internacional	X
	Implementar un programa de Ciberseguridad y Ciberdefensa	
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	X
	Establecer una política de atención a desastres naturales y catástrofes	X
	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial	
	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	X
	Alcanzar un GESD competitivo	
	Avanzar en una estrategia de bienestar para los miembros de la fuerza pública	

Tabla 3. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT infrarrojos (Quiroga, 2014)

2.5.3. SOT de imágenes radar (SIRD)

Estos satélites principalmente utilizan Radar de Apertura Sintética (en adelante SAR) para tomar imágenes en la banda de microondas. Los pulsos de microondas son transmitidos hacia la superficie de la tierra por el SAR, estos pulsos penetran las nubes e impactan en la superficie de la tierra, teniendo en cuenta el tiempo de retorno de los pulsos al satélite y la fuerza de la señal de retorno, las imágenes son creadas. Se asignan diferentes números digitales para diferentes niveles de luz y luego esta información es transmitida de manera electrónica a la tierra de la misma manera que lo hacen los satélites electro-ópticos.

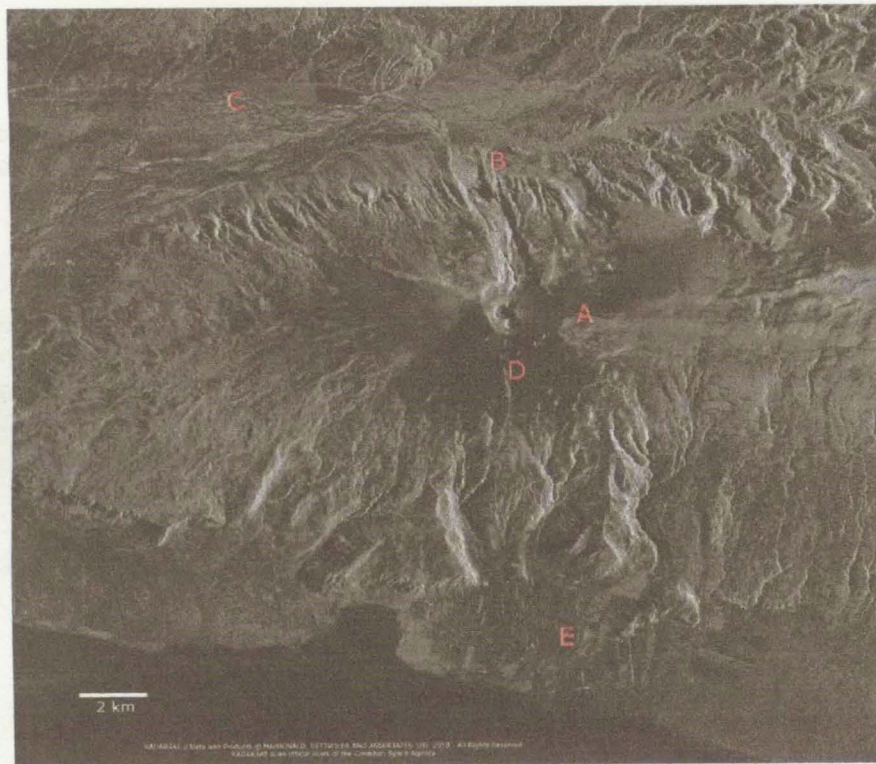


Figura 15. Imagen satélite radar volcán Eyjafjallajökull, Island (Radarsat 2, 2010)

Otras tecnologías basadas en radar emplean la tecnología radar Doppler y la tecnología de Indicación de Movimiento Terrestre de Objetivo (IMTO). La tecnología Doppler es usada para monitorear el movimiento de barcos y aeronaves, y la tecnología IMTO es utilizada para detectar el movimiento de vehículos en tierra.

En la tabla 4 se identifican los objetivos y estrategias de la PISDP que los satélites de observación de la tierra de imágenes radar pueden afectar de manera directa y positiva.

Objetivos Estratégicos	Estrategia General Objetivos Específicos	SIRD
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar cultivos ilegales	X
	Fortalecer las capacidades de interdicción	X
	Desarticulación de las BACRIM	X
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia, desarticulando los GAML	X
	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	X
	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	X
	Fortalecer la acción integral	X
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	X
	Desarticular las organizaciones delincuenciales	X
	Reforzar la investigación criminal	X
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema de defensa integrado, flexible y sostenible	X
	Incrementar la cooperación tanto a nivel regional como internacional	X
	Implementar un programa de Ciberseguridad y Ciberdefensa	
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	X
	Establecer una política de atención a desastres naturales y catástrofes	X
	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	X
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial	
	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	X
	Alcanzar un GESD competitivo	X
	Avanzar en una estrategia de bienestar para los miembros de la fuerza pública	

Tabla 4. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT radar (Quiroga, 2014)

Los satélites de imágenes radar no están limitados por las condiciones de iluminación solar, pueden trabajar tanto de día como de noche, sin afectarse tampoco por las condiciones meteorológicas. Estas características hacen que en algunas oportunidades esta tecnología supere las prestaciones que ofrecen otros tipos de tecnologías satelitales. Los satélites de imágenes radar son principalmente sistemas de sensores remotos activos (Agraval, 2011).

2.5.4. SOT Lidar (Light Detection and Ranging) (SILD)

Los satélites de tecnología lidar tienen el mismo principio de operación de los satélites radar, la diferencia radica en que estos emiten pulsos de luz en lugar de pulsos de microondas. Estos satélites envían haces de luz láser a través de la atmósfera, que generan un retorno al entrar en contacto con las partículas que se encuentran en su recorrido. El tiempo de demora entre la transmisión y la recepción de la luz, así como la amplitud y la frecuencia de retorno del haz de luz es medido por el receptor a bordo del satélite.



Figura 16. Imagen lidar tomada sobre el Tamesis (Airbus Defense & Space, 2014)

En la tabla 5 se identifican los objetivos y estrategias de la PISDP que los satélites de observación de la tierra lidar pueden afectar de manera directa y positiva.

Objetivos Estratégicos	Estrategia General Objetivos Específicos	SILD
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar cultivos ilegales	X
	Fortalecer las capacidades de interdicción	X
	Desarticulación de las BACRIM	X
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia, desarticulando los GAML	X
	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	X
	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	
	Fortalecer la acción integral	X
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	X
	Desarticular las organizaciones delincuenciales	X
	Reforzar la investigación criminal	X
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema de defensa integrado, flexible y sostenible	X
	Incrementar la cooperación tanto a nivel regional como internacional	X
	Implementar un programa de Ciberseguridad y Ciberdefensa	
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	X
	Establecer una política de atención a desastres naturales y catástrofes	X
	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	X
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial	
	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	X
	Alcanzar un GESD competitivo	X
	Avanzar en una estrategia de bienestar para los miembros de la fuerza pública	

Tabla 5. Objetivos y estrategias PISDP apoyados por los SOT lidar (Quiroga, 2014)

Una ventaja de utilizar pulsos de luz, es que ellos ofrecen una mejor resolución que los satélites de pulsos de microondas, así mismo el lidar puede detectar partículas muy pequeñas, tales como pequeñas capas de bruma. Los satélites lidar y radar hacen uso del efecto Doppler.

Los satélites lidar están aún en desarrollo y junto a los satélites infrarrojos se encuentran en prueba en cuanto a aplicaciones militares se refiere, por lo cual dichas tecnologías son altamente costosas, y se utilizan en programas militares clasificados en los países desarrollados (Agraval, 2011).

3.1.1. Inteligencia

Es el producto derivado de la adquisición, procesamiento, integración, explotación, análisis e interpretación de la información disponible de acciones enemigas, fuerzas o elementos hostiles y otros en los cuales se desarrollan operaciones militares. Los sistemas espaciales contribuyen a desarrollar la inteligencia a través de actividades de vigilancia y reconocimiento.

3.1.2. Vigilancia

Los sistemas espaciales permiten observar y monitorear el territorio, el espacio aéreo, áreas subterráneas, aguas y puertos navegando al comando con una elevada conciencia geoespacial de un área determinada. La vigilancia desde el espacio no implica que un satélite sea dedicado a observar continuamente. Estos satélites están disponibles para adquirir información en un momento determinado de un área determinada. Pueden estar algunos

Capítulo 3. Influencia de las TSOT sobre la ESD

3.1. Aplicaciones de las tecnologías satelitales de observación de la tierra en la PISDP

Los satélites de observación de la tierra tienen acceso desde el espacio a recopilar información de aspectos militares, diplomáticos y económicos, que pueden ser fundamentales para el planeamiento y ejecución de las operaciones militares que soportan la ESD. Se obtiene información para analizar y procesar, con el fin de difundir informes respecto a objetivos militares, posiciones enemigas, evaluación de capacidades del adversario, evaluación de daños, entre otros (Armed Forces of the United States, 2013). Las operaciones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento basadas en tecnologías espaciales hacen parte de una sincronizada integración de sensores que adquieren datos e información de interés para los objetivos contemplados en la Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional.

3.1.1. Inteligencia

Es el producto derivado de la adquisición, procesamiento, integración, evaluación, análisis e interpretación de la información disponible de naciones enemigas, fuerzas o elementos hostiles y áreas en las cuales se desarrollan operaciones militares. Los sistemas espaciales contribuyen a desarrollar la inteligencia a través de actividades de vigilancia y reconocimiento.

3.1.2. Vigilancia

Los sistemas espaciales permiten observaciones continuas del aire, el espacio, la tierra, áreas subterráneas, lugares y personas, proveyendo al comandante con una elevada conciencia situacional de un área determinada. La vigilancia desde el espacio no implica que un satélite este dedicado a recopilar información continuamente. Estos satélites están disponibles para adquirir información en un momento determinado de un área determinada. Pueden existir algunos

momentos en los cuales no exista capacidad de adquisición de información, pero se pueden concentrar otras capacidades satelitales sobre un objetivo militar, con el fin de mantener la vigilancia. Esta planeación de los diferentes satélites, permite mantener una adquisición continua de información del objetivo militar, sin importar que los satélites orbiten fuera del alcance del mismo.

Diferentes satélites en orbitas medias y bajas pueden acceder a los objetivos militares en cuestión de minutos. Los satélites geosincrónicos pueden adelantar misiones de vigilancia debido a que sus orbitas les permite tener un acceso permanente a grandes áreas de la superficie terrestre. La adquisición de información desde los satélites geosincrónicos debe ser priorizada con base en el área del mundo en la cual se requiere obtener la información. Los satélites también pueden apoyarse en otros esfuerzos de vigilancia espaciales, aerotransportados y terrestres para proveer una vigilancia continua cuando los sistemas espaciales por si solos, no tienen un acceso constante.

3.1.3. Reconocimiento

Las misiones de reconocimiento son desarrolladas para obtener información acerca de las actividades y recursos de un adversario, o para adquirir datos con relación a características meteorológicas, hidrográficas o geográficas de un área en particular. Los satélites en órbitas medias y bajas se desempeñan muy bien para las misiones de reconocimiento, pero generalmente su acceso a objetivos específicos es mínimo, debido a que sus orbitas tan solo les permite orbitar un periodo de tiempo limitado sobre los objetivos y realizar la adquisición de las imágenes. Los satélites geo sincrónicos o geoestacionarios son también capaces de desarrollar misiones de reconocimiento desde el espacio, enfocándose en la adquisición de información de un objetivo, en un área o región por un corto periodo de tiempo, antes de enfocarse en otra área.

3.2. Análisis de las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra

3.2.1. Influencia positiva

La primera ventaja de las capacidades satelitales de observación de la tierra (satélites de inteligencia, vigilancia y reconocimiento) es el alcance global y amplia cobertura de área sobre lugares donde poca o ninguna información se puede obtenerse con equipos terrestres o aerotransportados.

Otras ventajas que poseen estos sistemas son la larga duración de las misiones satelitales y la baja vulnerabilidad ante acciones del adversario, teniendo en cuenta que mientras exista una disponibilidad para proveer cobertura satelital, habrá una demanda de estos sistemas que normalmente exceden su capacidad; así mismo, las órbitas de los satélites y las características técnicas de los mismos, pueden limitar su habilidad para satisfacer algunos requerimientos operacionales.

Los satélites de inteligencia, vigilancia y reconocimiento son contrarrestados con técnicas avanzadas de negación y decepción. Usualmente, este tipo de sistemas satelitales están en posesión de entidades militares, no militares y agencias espaciales. La cooperación internacional de los sistemas satelitales de inteligencia, vigilancia y reconocimiento se lleva a cabo entre aliados y otros asociados con el fin de contribuir a objetivos comunes de Seguridad y Defensa Nacional, a través del fortalecimiento de las capacidades de interoperabilidad, operaciones de soporte de coalición y el incremento de actividades de cooperación en materia satelital.

A menudo, los productos derivados de las capacidades espaciales o terrestres pueden mejorar la precisión y los tiempos de reacción ante eventualidades de los usuarios, resaltando que las capacidades satelitales pueden ser utilizadas para mejorar la confiabilidad de los sistemas

terrestres y generar una mayor precisión en cuanto a localización, discriminación y ubicación de blancos.

Los sistemas satelitales de inteligencia, vigilancia y reconocimiento también fortalecen el planeamiento, ya que proveen información actualizada y precisa con respecto al terreno y a los dispositivos de fuerza del enemigo. Las imágenes satelitales en particular, apoyan la totalidad de las actividades de inteligencia militar, incluyendo alertas tempranas, actualización de inteligencia, orden de batalla, evaluaciones de inteligencia científica y tecnológica, identificación de blancos y evaluación del desarrollo de la batalla. Estas imágenes también son utilizadas para conducir las misiones de planeamiento y entrenamiento operacional.

3.2.2. Influencia negativa

Adicionalmente a las limitaciones de acceso a los satélites y a su horario de órbita rígido, los sistemas satelitales pueden ser afectados por una variedad de condiciones atmosféricas tales como neblina, humo, tormentas eléctricas, lluvia y nubes, los cuales afectan la habilidad de los sistemas de imágenes para detectar actividades del enemigo, lanzamiento de misiles y hacer la evaluación de los daños en la batalla. Otros factores que los limitan son: la prioridad de los conflictos, el elevado volumen de requerimientos, las limitaciones operacionales, las características técnicas y la limitada cantidad de satélites disponibles.

3.2.3. Comparación de características de las TSOT

En la tabla 6 se expone un análisis de las diferentes tecnologías satelitales de observación de la tierra, integrando 8 variables de referencia (cualitativas y cuantitativas), sobre las cuales se genera una valoración teniendo en cuenta una escala de 1 a 10, siendo 10 el valor que permite el mejor desempeño de medición. Las tecnologías sobre las cuales se hace la comparación son:

SOT de imágenes electro-ópticas (SIEO), SOT de imágenes infrarrojas (SIIR), SOT de imágenes radar (SIRD) y SOT de imágenes Lidar (SILD).

Variables	SIEO	SIIR	SIRD	SILD
Resolución espacial	10	0	5	2
Resolución temporal	8	10	10	10
Resolución angular	8	8	4	4
Relación costo beneficio	10	1	3	1
Nivel de afectación por condiciones de iluminación solar	5	8	10	10
Nivel de afectación por condiciones meteorológicas	5	5	10	10
Experiencia internacional de desarrollo de programas SOT	10	0	1	0
Madurez de la tecnología	10	3	5	2
	66	35	48	39
	82.5%	43.7%	60%	48.7%

Tabla 6. Beneficios y aportes a los pilares que soportan la PISDN (Quiroga, 2014)

3.3. Impacto de las tecnologías satelitales de observación de la tierra sobre la PISDP

La tabla 7 relaciona detalladamente las tecnologías satelitales de observación de la tierra con aplicación en Seguridad y Defensa con los objetivos y las estrategias de la PISDP, identificando cuáles de ellos son influenciados de manera directa por estas tecnologías.

Objetivos Estratégicos	Estrategia General Objetivos Específicos	SIEO	SIIR	SIRD	SILD
Llevar a un mínimo histórico la producción nacional de narcóticos	Erradicar cultivos ilegales	X	X	X	X
	Fortalecer las capacidades de interdicción	X	X	X	X
	Desarticulación de las BACRIM	X	X	X	X
Desarticular los GAML y crear condiciones suficientes de seguridad para la consolidación	Acabar con la violencia, desarticulando los GAML	X		X	X
	Integrar y adaptar los esquemas de seguridad	X		X	X
	Implementar un modelo de control, administración y seguridad fronteriza	X		X	
	Fortalecer la acción integral	X	X	X	X
Crear condiciones de seguridad para la convivencia ciudadana	Fortalecer el control policial	X		X	X
	Desarticular las organizaciones delincuenciales	X		X	X
	Reforzar la investigación criminal	X		X	X
Avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable	Diseñar e implementar un sistema de defensa integrado, flexible y sostenible	X	X	X	X
	Incrementar la cooperación tanto a nivel regional como internacional	X	X	X	X
	Implementar un programa de Ciberseguridad y Ciberdefensa				
Contribuir a la atención oportuna a desastres naturales y catástrofes	Crear una instancia de respuesta sectorial	X	X	X	X
	Establecer una política de atención a desastres naturales y catástrofes	X	X	X	X
	Estabilizar y asegurar áreas afectadas	X		X	X
Fortalecer la institucionalidad y el bienestar del sector seguridad y defensa nacional	Modernizar la gestión sectorial				
	Impulsar proyectos de ciencia, tecnología e innovación	X	X	X	X
	Alcanzar un GESD competitivo	X		X	X
	Avanzar en una estrategia de bienestar para los miembros de la fuerza pública				

Tabla 7. Objetivos y estrategias de la PISDP apoyados por los diferentes SOT (Quiroga, 2014)

3.4. Importancia e impacto de las operaciones espaciales en las operaciones militares

Los productos y análisis generados por las operaciones espaciales se han convertido día tras día, en un componente fundamental del planeamiento y ejecución de las operaciones militares, tal como es contemplado por el Brigadier General David A. Deptula en su artículo acerca de las Operaciones Basadas en Efectos EBO “el poder aeroespacial tiene el potencial para alcanzar efectos en cada nivel de la guerra, directa y rápidamente”, y “el poder aeroespacial esta rápidamente evolucionando más allá de los aviones tripulados, pero la filosofía detrás del uso de estos sistemas, permanece” (Aerospace Education Foundation, 2001).

De igual manera, menciona la capacidad que tiene el componente aeroespacial para minimizar el costo de la guerra “Conociendo que los objetivos estratégicos pueden ser logrados a través de operaciones aeroespaciales, la victoria puede ser alcanzada sin la ocupación de territorio por fuerzas de superficie” (Aerospace Education Foundation, 2001).

Por su parte, el Teniente Coronel Mark E. Hunter en su artículo Diez Propositiones acerca del Poder Espacial, enuncia que “los sistemas espaciales proveen un enlace entre los instrumentos del poder nacional, para obligar al enemigo a rendirse”, y “la era de la información del siglo XXI, la información global y tecnológica y los centros de redes de guerra, todos dependen de un flujo de información en tiempo real que a menudo solo es posible, a través de los sistemas espaciales” (Air & Space Power Journal, 2006).

En Colombia, la FAC contempla en el Manual de Doctrina Básica Aérea y Espacial MADBA, el desarrollo de Operaciones Espaciales, como una Misión Típica y Operación Tipo, dentro de la Función Controlar el Aire, el Espacio y el Ciberespacio (Fuerza Aérea Colombiana, 2013); estas operaciones han sido vitales para apoyar el logro de los objetivos militares propuestos por el

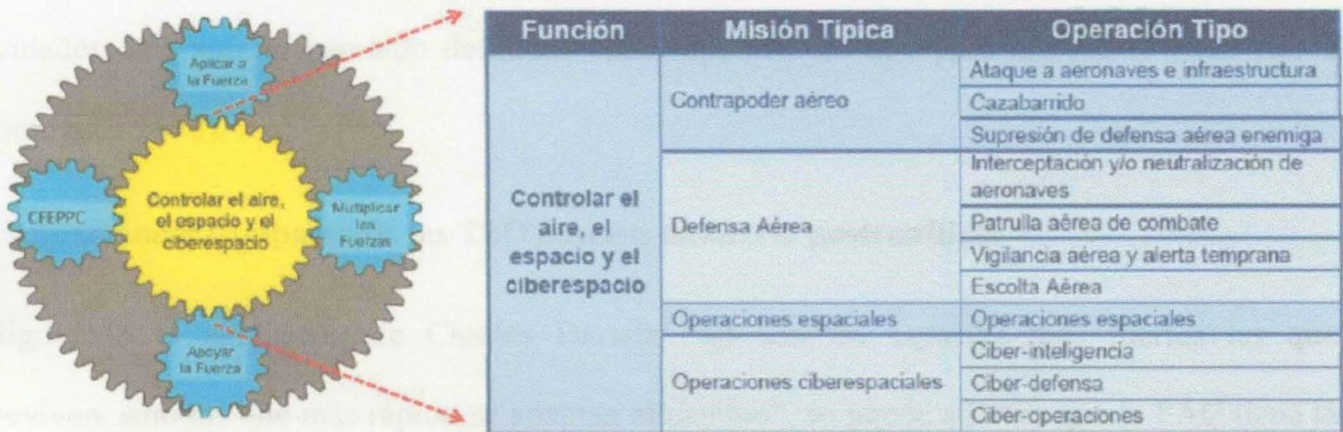


Figura 17. Operaciones Espaciales FAC (Fuerza Aérea Colombiana, 2013)

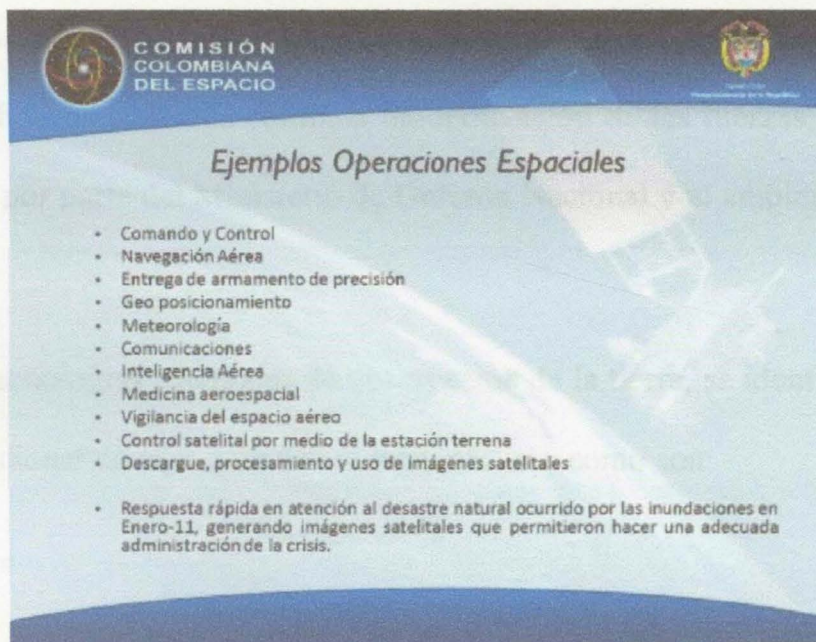


Figura 18. Ejemplos Operaciones Espaciales FAC (Fuerza Aérea Colombiana, 2013)

Así mismo, el Departamento de Asuntos Espaciales de la FAC presenta como ejemplos de Operaciones Espaciales, actividades en las cuales está inmerso el uso de estas tecnologías espaciales, como son el comando y control, la navegación aérea, la entrega de armamento de precisión, el geoposicionamiento de aeronaves y objetivos militares, el análisis meteorológico

basado en información satelital, las comunicaciones globales, la inteligencia espacial, el control de satelitales, y el análisis y procesamiento de imágenes y datos satelitales, entre otras actividades, que aún no han sido definidas como operaciones tipo para la FAC (Fuerza Aérea Colombiana, 2013).

3.5. Importancia e impacto de las TSOT en un escenario postconflicto

Siguiendo el enunciado de Charles Darwin “no son las especies más fuertes las que sobreviven, sino las que más rápido se adaptan al cambio”, se puede afirmar que la FAC tiene la posibilidad de anticipar áreas potenciales de desarrollo inherentes o afines a su misión como el desarrollo satelital y espacial, en las cuales puede proyectar nuevas capacidades institucionales que le garanticen una competitividad dentro del escenario de las organizaciones gubernamentales de cara a los retos futuros como: la continua modernización de las fuerzas, la identificación de roles y capacidades por parte del Ministerio de Defensa Nacional y al ambiente que gira en torno al postconflicto.

Basados en las tecnologías satelitales de observación de la tierra, se identifican oportunidades de desarrollo institucional de cara a un futuro postconflicto como son:

Operaciones de paz

Las fuerzas de paz que operan bajo el Comando y Control de la ONU se identifican como una oportunidad para integrar esfuerzos y conocimiento en el desarrollo de operaciones conjuntas y combinadas haciendo uso de tecnologías y capacidades satelitales de observación de la tierra, adquirir conocimientos en operaciones de fuerzas multinacionales en guerra regular e irregular, y lograr además de una interacción militar, un flujo constante de recursos, equipo de última generación y conocimiento para mantener el personal debida y constantemente entrenado.

Convenios de cooperación militar

Los convenios de cooperación militar son una de las formas más eficiente de inclusión en el escenario militar mundial. El contar con una capacidad satelital de observación de la tierra le permite al Ministerio de Defensa y a la FAC adelantar convenios de cooperación militar en materia satelital que lo introduzcan en el escenario mundial para participar en organizaciones militares internacionales que accedan a compartir conocimientos en áreas no exploradas, a través de la integración de capacidades y entrenamiento con fuerzas militares extranjeras en temas satelitales.

Desarrollo espacial

El desarrollo espacial por sí mismo se constituye en una obligada área a incursionar por la institución, es inherente a su misión y se contempla en la visión y los objetivos estratégicos, al tiempo que se incorporan las operaciones espaciales como misión típica y operación tipo dentro de la función Control del Espacio Aéreo.

Así mismo, el desarrollo espacial se constituye en una de las áreas de mayor proyección nacional e institucional que se alinea con los ejes de desarrollo del Gobierno Nacional, y garantiza la asignación de presupuesto en el largo plazo.

Reacción ante emergencias nacionales o desastres naturales

Colombia enfrentó en el 2010 un periodo de lluvias que lo envolvió en una condición de emergencia nacional, miles de hectáreas pobladas y cultivables quedaron bajo el agua, generando una calamidad pública. Atendiendo esta situación, la FAC dispuso el uso de sus capacidades espaciales para administrar esta emergencia, logrando resultados precisos y oportunos. Estas

mismas capacidades se muestran hoy día, como fortalezas de gobierno, bajo un concepto humanitario de servicio al país y la región, más allá del contexto militar.

Búsqueda y rescate

Las capacidades desarrolladas por la FAC en misiones de búsqueda y rescate en combate son aplicables a las necesidades no militares nacionales y regionales, permite una oportunidad a la institución de ofrecer un sistema integrado de búsqueda y rescate a nivel nacional y regional que integre el fortalecido musculo de rescate que posee, con las capacidades de búsqueda que aporta el componente satelital, incluyendo una total cobertura del territorio continental y marítimo.

Desarrollo de la industria aeronáutica y espacial

La FAC ha incursionado en el desarrollado de capacidades aeronáuticas comerciales a través de la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana CIAC, de desarrollos tecnológicos militares con base en su experiencia (ejemplo: helicóptero UH-60 artillado) y de capacidades espaciales en su labor dentro de la Comisión Colombiana del Espacio; esto le ha permitido ser reconocida como una institución con visión e innovadora, que posee capacidades técnicas y de conocimiento para articular la creación de una red de conocimiento y desarrollo en torno a la industria aeroespacial.

Protección del medio ambiente

Por otra parte, las tecnologías satelitales pueden enfocar las capacidades de adquisición, procesamiento y análisis de imágenes hacia el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales renovables y no renovables del país. Además de ser una necesidad para el futuro inmediato, es mandatorio para Colombia contar con una capacidad satelital que le permita

proteger activos medioambientales como el Amazonas y la amplia red de recursos hídricos que se posee.

Producción cartográfica militar

Adicional a la capacidad de producción de cartografía nacional que ofrece el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el cual adquiere a proveedores internacionales las imágenes satelitales sobre las cuales desarrolla dicha producción, las tecnologías satelitales de observación de la tierra permiten satisfacer la demanda no cubierta de cartografía de uso militar y especializada tanto del Ministerio de Defensa Nacional, como de las demás instituciones del gobierno que lo requieren, así como la demanda de la empresa privada.

Proyectos de ciencia, tecnología e innovación

Las tecnologías satelitales de observación de la tierra, como se mencionó anteriormente permiten generar grandes proyectos o desarrollos de Ciencia y Tecnología basados en el avance tecnológico del componente satelital y en los recursos y conocimiento que estos proveen, generando una oportunidad para incursionar en diferentes intenciones de cooperación nacional e internacional en áreas de ciencia, tecnología e innovación.

Capítulo 4. Oportunidad para integrar las TSOT en sectores productivos del país

4.1. Integración de capacidades satelitales de observación de la tierra

Existe una elevada disponibilidad de satélites de observación de la tierra (militares y no militares), los cuales pueden ser utilizados individualmente o de manera colectiva para adquirir la información que permita complementar y fortalecer la Estrategia de Seguridad y Defensa de un país.

Tomando como ejemplo la estructura de los Estados Unidos, existen entidades militares y no militares que administran sus capacidades espaciales, cada una con su rol específico, las cuales se integran bajo un solo concepto para generar una capacidad estratégica nacional.

Se toma como referente los Estados Unidos, teniendo en cuenta su amplia red de activos espaciales y la visión estratégica que desarrolló sobre el campo satelital desde hace más de medio siglo, identificando la oportunidad de integrar además de una capacidad nacional, una industria espacial, que lo convierte en el referente mundial en la materia. Similar a este país, Colombia tiene la posibilidad de establecer el comienzo de un programa satelital que desarrolle las capacidades satelitales de defensa a la par del desarrollo del país.

Analizando el país de referencia, éste cuenta con tres sistemas satelitales. El primero es el sistema satelital militar de observación de la tierra, actualmente a cargo de la USAF; el segundo sistema es el de inteligencia, vigilancia y reconocimiento espacial nacional que provee soporte directo a las necesidades del Presidente de los Estados Unidos y el tercer sistema integra los satélites de imágenes no militares y comerciales, y el servicio de información geoespacial. Los anteriores sistemas satelitales de observación de la tierra componen la capacidad satelital nacional, constituyendo un único esfuerzo en temas de Seguridad y Defensa Nacional.

4.2. Áreas y sectores no militares que se benefician de las TSOT

Las tecnologías satelitales militares de observación de la tierra, aun cuando fueron diseñadas para suplir las necesidades militares, tienen la capacidad de satisfacer requerimientos de sectores ajenos al de defensa. Esta característica permite una fácil integración de esfuerzos, evidenciando ejemplos en los cuales un programa satelital es de uso compartido entre los estamentos militares y diferentes áreas gubernamentales o privadas, permitiendo minimizar costos de inversión, de funcionamiento y maximizando las capacidades de los satélites en órbita.

En Colombia, desde el año 2006, la Comisión Colombiana del Espacio CCE formuló como uno de sus objetivos el proyecto para adquirir un Satélite de Observación de la Tierra, con el fin de dar solución a las necesidades que se evidenciaban en el país en el campo satelital.

Con el fin de poner en marcha la implementación de los lineamientos dados por la Vicepresidencia de la República y la Secretaría Ejecutiva de la CCE, el 19 de diciembre de 2007 se firmó el Convenio Especial de Cooperación Nro. 160, suscrito entre COLCIENCIAS, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, y el Centro Internacional de Física, CIF, con el objeto de articular y asociar esfuerzos técnicos, económicos y administrativos dentro de la órbita de sus competencias orgánicas y misionales para promover y desarrollar el proyecto “Programa de Investigación en Desarrollo Satelital y Aplicaciones en el Tema de Observación de la Tierra”, el cual se constituyó en la base para la formulación del Programa Satelital Colombiano de Observación de la Tierra (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2010).

En el 2008, se identificaron 6 sectores de interés (ambiental, agropecuario, gestión del riesgo, infraestructura y transporte, minas y energía, y defensa) y 36 áreas de aplicación para el proyecto del “Programa Satelital Colombiano de Observación de la Tierra”, a través de una encuesta y talleres con 130 representantes de 62 instituciones públicas, privadas y académicas, los cuales se muestran en las gráficas 18 y 19 (Comisión Colombiana del Espacio, 2009).



Figura 19. Sectores que influenciaba el SOT CCE (Comisión Colombiana del Espacio, 2009)

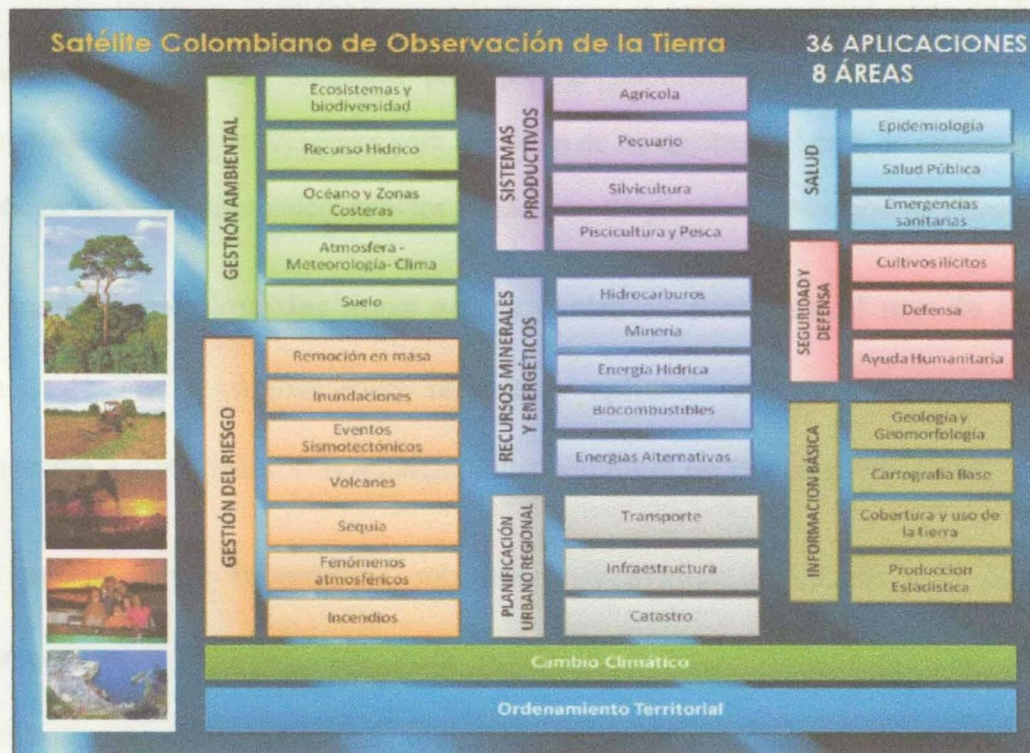


Figura 20. Áreas temáticas SOT Colombia CCE (Comisión Colombiana del Espacio, 2009)

4.3. Áreas de aplicación de las TSOT contempladas en el CONPES 3683

Teniendo en cuenta el anterior estudio y el trabajo que la CCE realizó en cuanto a este proyecto, el Gobierno Nacional, formuló el CONPES 3683 los “Lineamientos para la Formulación del Programa Nacional de Observación de la Tierra que incluye el diseño de un Programa Satelital Colombiano”, este documento contempla:

Este documento presenta a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES, los lineamientos para la formulación del “Programa Nacional de Observación de la Tierra - PNOT” que incorpore el diseño de un “Programa Satelital Colombiano -PSC”, considerando que estos componentes se establecen con el objetivo de proporcionar información geoespacial sobre la cual se puedan representar geográficamente los recursos del país, la población y los planes del gobierno; a su vez, para fortalecer las decisiones políticas y de manejo orientadas a la sostenibilidad.

En este sentido, los datos obtenidos a partir de imágenes de sensores remotos, tanto satelitales como aerotransportados, han sido utilizados para proveer información y fortalecer la soberanía, la gobernabilidad y la toma de decisiones para la gestión de los recursos del país, de manera que redunde en beneficios sociales y económicos para los ciudadanos. (Departamento Nacional de Planeación, 2010)

De igual manera menciona las áreas en las cuales se considera el uso de los Satélites de Observación de la Tierra en diferentes sectores y aplicaciones, incluyendo el campo militar, como se transcribe a continuación (Departamento Nacional de Planeación, 2010).

Sistemas productivos: Inventariar, monitorear y evaluar el estado y la dinámica de los sistemas agropecuarios y pesqueros para orientar la productividad en diversos escenarios socioeconómicos, optimizar la calidad, incluir criterios de sostenibilidad ambiental y garantizar la competitividad de los productos.

Salud: Generar información para el estudio y georreferenciación de la ocurrencia de enfermedades, articulación con información climática para determinación de focos de generación de enfermedades y posibles áreas potenciales, definir planes de saneamiento ambiental, identificar zonas prioritarias para llevar a cabo brigadas médicas y reaccionar con precisión ante una emergencia, implementando las medidas de manejo y control pertinentes.

Gestión ambiental: Monitorear y modelar el océano y la tierra para facilitar la toma de decisiones relacionadas con el manejo y uso sostenible de los recursos naturales, conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, monitoreo y seguimiento a la contaminación atmosférica e hídrica, cambio de uso del suelo, monitoreo y seguimiento a procesos de erosión, salinización y desertificación, manejo de los bosques y del recurso hídrico. Para estas labores se desarrollan modelos a partir de las observaciones que predicen los comportamientos bajo determinadas circunstancias, que permiten hacer prospección del uso de los recursos.

Cambio climático: Investigar, modelar y monitorear los factores asociados al cambio climático, que permitan analizar los posibles impactos, prever eventos extremos (inundaciones sequías e incrementos de la temperatura) y evaluar las opciones de adaptación a las nuevas condiciones climáticas en todos los sectores del país.

Marítimo e insular: Los sensores remotos en órbita registran datos oceanográficos de temperatura superficial, corrientes superficiales, espectro de oleaje y nivel del mar. Estas variables junto con los datos registrados en *in situ*, además de los datos del clima atmosférico, permiten tener un mayor conocimiento de las interacciones clima-océano para el monitoreo y seguimiento de fenómenos de impacto global, tales como el cambio climático y fenómenos como “El Niño” y “La Niña”. Así mismo, las imágenes que permiten generar datos de color del océano

y sólidos suspendidos, son utilizadas en la detección y seguimiento de niveles de contaminación e identificación de áreas productivas para la pesca, tanto en la costa como en océano abierto. En cuanto a costas, los sensores remotos pueden ser empleados para identificar la dinámica litoral, coberturas de las zonas costeras y aguas someras, así como datos de nivel del mar y topografía; esta información es de gran utilidad para la planificación y el manejo integrado de zonas costeras.

Biodiversidad: Los datos provistos por sensores remotos permiten identificar y evaluar el estado de los ecosistemas; y realizar el seguimiento y monitoreo de los cambios naturales o antrópicos a los que se ven sometidos, incluyendo la deforestación, la ocurrencia de incendios, la erosión y el cambio de uso del suelo, entre otros. Las imágenes de sensores remotos que permiten reconocer coberturas y elementos de la Tierra, son un insumo importante tanto para identificar como para cuantificar la extensión de los ecosistemas con diferente nivel de detalle.

Por su parte, los datos de reflectancia registrados por sensores multiespectrales e hiperespectrales posibilitan obtener curvas de los espectros característicos de las coberturas y realizar la estimación de parámetros biofísicos que generan información sobre la vigorosidad, humedad y estado fenológico de la vegetación (ejemplo: índices de vegetación, índice de área foliar, etc.). Estos parámetros son de gran utilidad para identificar el tipo y estado de los ecosistemas y coberturas vegetales, incluso se han desarrollado investigaciones puntuales para identificar especies o para realizar estimaciones de biodiversidad. Igualmente, otros sensores remotos registran datos climáticos, composición de la atmósfera e información topográfica que contribuyen al estudio de los ecosistemas.

Atmósfera-Meteorología-Clima: Los datos provistos por sensores remotos son utilizados para la comprensión y monitoreo de fenómenos meteorológicos y climatológicos como: temperatura, nubosidad, capa de ozono, seguimiento de los fenómenos “El Niño” y “La Niña”, seguimiento de huracanes, cenizas volcánicas, incendios forestales, entre otros, que suceden en la Tierra. Adicionalmente, se incluye el seguimiento y predicción del tiempo, la dinámica de la atmósfera, y la calidad del aire. A partir de los datos emitidos por los sensores, en conjunto con las mediciones de las estaciones climatológicas terrestres y oceánicas se realiza el seguimiento y pronóstico del tiempo para diversos sectores como la agricultura, la navegación aérea y marítima, el desarrollo de proyectos de infraestructura y la prevención de desastres, entre otros.

Gestión del riesgo: Identificar aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e hídricos para caracterizar potenciales amenazas, identificar elementos expuestos, generar información que permita monitorear el riesgo, y contribuya a la prevención y mitigación del mismo. Por otra parte, la información obtenida fortalecerá la toma de decisiones ante desastres y cuantificación de los impactos producidos ante fenómenos como inundaciones, avalanchas, volcanes, remoción en masa, incendios, huracanes y sequías, entre otros.

Recursos minerales y energéticos: Producir información de utilidad para las tareas de prospección, exploración, explotación y restauración en minería e hidrocarburos con el fin de optimizar el aprovechamiento sostenible de estos recursos.

Así mismo, permiten realizar el seguimiento y control a poliductos, oleoductos y gasoductos y brinda información útil para la formulación de regalías.

Desarrollo urbano: La información proveniente de sensores remotos posibilita realizar el inventario, valoración y seguimiento de la infraestructura que ofrece servicios a las poblaciones

humanas, entre ellas los sistemas de redes (sistemas de transmisión de energía, acueducto, oleoductos, entre otros). Igualmente, gracias a la información obtenida de sensores remotos es posible realizar análisis para determinar la mejor ubicación y rutas óptimas de instalación para nueva infraestructura, así como para entender dinámicas poblacionales, flujos, migraciones y plantear medidas de manejo.

Actividades agrícolas, pecuarias e infraestructura: Identificar la localización, dinámicas, movilidad de los sectores agropecuarios y potenciar su desarrollo identificando las áreas de generación de productos y las zonas de consumo, especializar esta información sectorial con la información de redes hidrometeorológicas para evaluación de las dinámicas climáticas y sus efectos en la producción y en la seguridad alimentaria. Apoyo en el diseño de infraestructura vial, hidrocarburífera y portuaria, con base en información espacial.

Así mismo, los sensores remotos son utilizados en los procesos de catastro para definir nuevas áreas urbanizadas, así como la manera en que éstas se han desarrollado, lo cual se puede obtener con alta precisión gracias a los avances de las tecnologías de geoposicionamiento y la resolución de los sensores de los sistemas satelitales. Esto facilita el seguimiento continuo de los usos del suelo y su distribución espacial, posibilitando la combinación de elementos de análisis para las actividades de planeación, ejecución, control y verificación, fortaleciendo la toma de decisiones por parte de las administraciones locales, regionales o nacionales. De otra parte, a través del uso de esta tecnología se puede realizar el seguimiento y medición de la eficiencia de proyectos de inversión pública, especialmente aquellos que permitan georreferenciar su estado de avance o ejecución, como es el caso del desarrollo de obras de infraestructura y el seguimiento del uso de los apoyos dirigidos al sector agropecuario entre otros.

Seguridad y defensa: Apoyar labores de reconocimiento, vigilancia, identificación de amenazas, desarrollo de operaciones, erradicación de cultivos ilícitos y actividades de ayuda humanitaria para garantizar la seguridad de los ciudadanos.

Fronteras: Las tecnologías espaciales se han convertido en factores clave para la implementación de sistemas de seguridad y defensa, toda vez que posibilitan el acceso a imágenes con absoluta confidencialidad y mayor eficiencia. Los sistemas de observación de la Tierra apoyan labores de reconocimiento, vigilancia marítima, identificación de amenazas, reconocimiento, evaluación de daños y desarrollo de operaciones de mantenimiento del orden público y la seguridad en las fronteras.

Las mencionadas áreas en las cuales pueden ser empleados los sensores de los satélites de observación de la tierra demuestran la capacidad que estos tienen para abarcar un amplio espectro de posibilidades más allá del empleo militar de los mismos. A nivel mundial es cada vez más marcada la tendencia de desarrollar programas o proyectos con satélites de tipo dual, dada la facilidad para generar productos o análisis finales con la misma información básica adquirida por los sensores.

Conclusiones

Posterior a desarrollar la presente investigación, se puede concluir:

Las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra son fundamentales y se constituyen en un componente vital de la Estrategia de Seguridad y Defensa de los países desarrollados, evidenciándose como una de sus capacidades estratégicas.

Se identifican cuatro tipos de Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra disponibles en el mercado mundial, con aplicaciones en Seguridad y Defensa, como son: SOT de imágenes electro-ópticas, SOT de imágenes infrarrojas, SOT de imágenes radar y SOT de imágenes Lidar.

Las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra tienen un impacto e influencia directa en la Estrategia de Seguridad Nacional, afectando positivamente los 6 objetivos de la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad y 17 de las 20 estrategias que soportan el logro de estos objetivos.

Las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra no tienen la capacidad de influenciar en 3 de las 20 estrategias de la PISDP, como son: implementar un programa de ciberseguridad y ciberdefensa, modernizar la gestión sectorial y avanzar en una estrategia de bienestar para la Fuerza Pública.

El análisis de la influencia de cada Tecnología Satelital de Observación de la Tierra sobre las 20 estrategias que soportan los objetivos de la PISDP, permite identificar que los Satélites de Imágenes Electro-Ópticas y los Satélites de Imágenes Radar apoyan 17 estrategias, los Satélites de Imágenes Lidar apoyan 16 estrategias y los Satélites de Imágenes Infrarrojas apoyan 9 estrategias.

Con relación a la comparación de las características de las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra, se puede precisar que los Satélites de Imágenes Electro-ópticas

registran el mejor puntaje de desempeño con un 82.5%, seguido por los Satélites de Imágenes Radar con un 60%, posteriormente los Satélites de Imágenes Lidar con un 48.7% y con menor rendimiento los Satélites de Imágenes Infrarrojas con un 43.7%.

Las Tecnologías Satelitales de Observación de la Tierra presentan oportunidades e influyen positivamente sectores diferentes a defensa, tales como: sistemas productivos, salud, gestión ambiental, cambio climático, marítimo e insular, biodiversidad, atmósfera-meteorología-clima, gestión del riesgo, recursos minerales y energéticos, desarrollo urbano y actividades agrícolas, pecuarias e infraestructura.

Se identifica que una capacidad satelital militar propia se constituye en una capacidad estratégica nacional, que genera un reconocimiento internacional, garantiza la independencia satelital y permite establecer estrategias de cooperación internacional en temática espacial.

Más allá de todos los beneficios que generan las tecnologías satelitales militares de observación de la tierra, Colombia requiere contar con una capacidad satelital de observación de la tierra para administrar áreas y recursos importantes como son el Amazonas y la amplia red de recursos hídricos que posee. Estos activos estratégicos, de interés para el mundo, requerirán en el corto plazo de un control permanente apoyado por tecnologías satelitales.

Por último, se identifica como el factor más importante a tener en cuenta, el compromiso que debe existir por parte de la conducción política nacional con el desarrollo satelital y espacial, a través de la emisión de políticas que apoyen y estimulen esta nueva área de conocimiento y progreso tecnológico para el país.

Recomendaciones y sugerencias

Derivado de la investigación y la experiencia que genera el estar inmerso en la temática satelital y espacial, se puede recomendar y sugerir:

Planear un programa de entrenamiento técnico especializado en áreas de astronáutica y operaciones espaciales, que garantice la disponibilidad de capital humano para desempeñarse en diferentes áreas de la temática satelital y espacial.

Apoyar el proyecto del Satélite de Observación de la Tierra que adelanta la Comisión Colombiana del Espacio, en el cual se encuentra vinculada la FAC, que se evidencia como un proyecto satelital dual del sector defensa y otros sectores productivos del país.

Analizar los beneficios de acceder a través de diferentes opciones a proyectos satelitales, mencionando la formulación de un proyecto de satélite dual (militar y no militar), satélites multinacionales (compartiendo costos de lanzamiento y operación con otro país) o hacer parte de una constelación de satélites como miembro o patrocinador (opción que obliga a compartir el satélite y la operación, pero ofrece acceso constante a nuevas tecnologías y conocimiento), con el fin de reducir el presupuesto requerido, maximizar la cobertura y los beneficios alcanzados.

El presente trabajo de grado se constituye en un argumento inicial para formular un proyecto satelital militar y brinda la oportunidad de adelantar una campaña de concientización a todo nivel y en diferentes escenarios para socializar los beneficios de las tecnologías SOT.

Así mismo, un Programa Satelital Militar de Observación de la Tierra se muestra como una oportunidad para proponer proyectos de Ciencia y Tecnología que permitan desarrollar el sector y las capacidades espaciales del país.

Bibliografía

- Agraval, A. M. (2011). *Satellite Technology - Principles and Applications*. West Sussex, United Kingdom, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Air & Space Power Journal. (2006). Ten Propositions regarding Space Power. *Air & Space Power Journal*.
- Airbus Defense & Space. (13 de Septiembre de 2014). <http://www.geo-airbusds.com/sg/3254-lidar>. Obtenido de <http://www.geo-airbusds.com/sg/3254-lidar>: <http://www.geo-airbusds.com/sg/3254-lidar>
- Armed Forces of the United States. (2013). *Space Operations*. Washington D.C.
- Astrium. (04 de junio de 2014). www.astrium-geo.com. Obtenido de http://www.astrium-geo.com/en/5751-image-detail?img=33598&search=&market=2237&world=0&sensor=0&continent=0&keyword=#.U81o_6BZjDc.
- Astrium. (2014). www.astrium-geo.com. Obtenido de <http://www.astrium-geo.com/en/5751-image-detail?img=32539&search=&market=2237&world=0&sensor=0&continent=0&keyword=#.U81qYKBZjDc>.
- Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo". (18 de Septiembre de 2014). <http://www.centrogeo.org.mx/en>. Obtenido de <http://www.centrogeo.org.mx/en>: <http://www.geowebrum.org/0contenidos/cursos/percepcion/035.html>
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Planeta S.A.
- Comisión Colombiana del Espacio. (2009). Satélite de Observación de la Tierra. *40*, 206.
- Comisión Colombiana del Espacio. (2010). Marco Regulatorio 2006-2010. *Análisis geográficos* , 234.
- Comisión Colombiana del Espacio. (22 de Junio de 2014). www.cce.gov.co.
- Comisión Nacional del Agua. (Junio de 2005). Percepción Remota . "*Fundamentos de Teledetección Espacial*". Ciudad de México, México.
- Comisión Colombiana del Espacio. (2009). Expodesarrollo 2009. *Programa Satelital Colombiano de Observación de la Tierra*. Bogotá, Colombia.
- Congreso de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia 1991. *Constitución Política de Colombia*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Congreso de Colombia. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014 Prosperidad para Todos*. Bogotá D.C.

- Congreso de la Republica. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Bogotá D.C.
- Deimos. (15 de Septiembre de 2014). *www.deimos-imaging.com*. Obtenido de *www.deimos-imaging.com*: <http://www.deimos-imaging.com/tecnologia/nociones-teledeteccion>
- Departamento Nacional de Planeación. (06 de Agosto de 2010). Documento CONPES 3683. *Lineamientos para la Formulación del Programa Nacional de Observación de la Tierra que incluya el diseño de un Programa Satelital Militar Colombiano*. Bogotá D.C., Colombia.
- Escorcía, J. L. (01 de Junio de 2011). <http://es.slideshare.net/jlherreraescorcía/teledeteccion-8174401>. Obtenido de <http://es.slideshare.net/jlherreraescorcía/teledeteccion-8174401>: <http://es.slideshare.net/jlherreraescorcía/teledeteccion-8174401>
- Euroconsultan Paris. (11 de Mayo de 2012). Space and Telecom Session. *Space and Telecom Session*. Toulouse, Pirineos medios, Francia.
- European Global Navigation System Agency. (2014). <http://www.gsa.europa.eu/galileo-0>. Obtenido de <http://www.gsa.europa.eu/galileo-0>.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2011). Plan Estratégico Institucional. Bogotá D.C.
- Fuerza Aérea Colombiana. (13 de Octubre de 2013). Departamento de Asuntos Espaciales. Bogotá D.C.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2013). *Manual de Doctrina Básica Aérea y Espacial*. Bogotá D.C.
- Global Navigation Satellite System. (2014). <https://glonass-iac.ru/en/guide/>. Obtenido de <https://glonass-iac.ru/en/guide/>.
- Global Positioning System. (2014). <http://www.gps.gov/systems/gps/>. Obtenido de <http://www.gps.gov/systems/gps/>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). Programa satelital colombiano de observación de la tierra: una estrategia de innovación y desarrollo tecnológico para Colombia. *Análisis Geográficos*, 12-29.
- Ministerio de Defensa Nacional. (Mayo de 2011). Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad. *Politica Ministerial*. Bogotá D.C., Colombia.
- Olympus. (19 de Sep de 2014). <http://www.olympusmicro.com/index.html>. Obtenido de <http://www.olympusmicro.com/index.html>: <http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/electromagintro.html>
- Organización de la Naciones Unidas. (12 de Diciembre de 1959). Resolución 1721 Cooperación internacional en la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos. *Resolución 1721*.

- Organización de la Naciones Unidas. (27 de Enero de 1967). Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes. *Tratado*.
- Organización de las Naciones Unidas. (20 de Julio de 2014). <http://www.oosa.unvienna.org/oosa/en/COPUOS/members.html>. Obtenido de <http://www.oosa.unvienna.org/oosa/en/COPUOS/members.html>.
- Presidencia de la República. (15 de Noviembre de 2013). Decreto No. 2516 de 2013. *Decreto Presidencial*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.
- Quiroga, R. S. (29 de Septiembre de 2014). Trabajo de grado CEM 2014. *Impacto de la Tecnologías Satelitales Militares en el Estrategia de Seguridad y Defensa Nacional*. Bogotá D.C., Colombia.
- Radarsat 2. (20 de Abril de 2010). <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/default.asp>. Obtenido de <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/default.asp>: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/featured-image/featured-north-america.asp#nouveau-brunswick>
- Revista de Temas Constitucionales. (Julio - Septiembre de 2006). Nuestro derecho al espacio. La órbita geoestacionaria: Una frustrada regulación? *Elementos de Juicio*(2), 51-80.
- Satellite Imaging Corporation. (15 de Junio de 2011). <http://satimagingcorp.com>. Obtenido de <http://satimagingcorp.com>: <http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/worldview-2-abbottabad-compound.jpg>
- Space Security ORG. (2012). *Space Securirty Index*. Waterloo, Ontario, Canada: Pandora Print Shop, Kitchener, Ontario.
- spacesecurity.org. (2012). *Space Security Index*. Kitchener, Ontario, Canadá: Pandora Print Shop.
- Universidad Nacional de Comahue. (30 de Agosto de 2011). <http://atlasneuquen.uncoma.edu.ar/>. Obtenido de <http://atlasneuquen.uncoma.edu.ar/>: <http://atlasneuquen.uncoma.edu.ar/articulos/?e=18>
- USGS. (16 de Septiembre de 2014). www.usgs.gov. Obtenido de www.usgs.gov: <http://eo1.usgs.gov/sensors/hyperion>

201003599



"TOMAS RUEDA VARGAS"

BIBLIOTECA CENTRAL DE LAS FF.MM.