

La tecnología al servicio de la disuasión

Emilia José Peña Ruiz

Resumen

Hoy más que nunca, el régimen de no proliferación se encuentra tensionado por los diferentes conflictos que transcurren y por el desafío de algunos países proliferantes cuyas actividades nucleares parecen alejarse del curso pacífico. Es por esto por lo que las actividades de monitorización necesitan de herramientas que den valor añadido y que puedan sobreponerse a las actividades de decepción. Las imágenes satélite y su análisis se han consolidado como una herramienta pilar en las actividades de verificación del OIEA y su sistema de salvaguardias, a pesar de los intentos de reducir su eficacia y enterrar las instalaciones o recubriendo con edificios las partes más vitales.

Palabras clave

Satélite, Inteligencia, Proliferación, Salvaguardias, Nuclear.

Technology for deterrence

Abstract

Today more than ever, the non-proliferation regime is under stress due to various conflicts that are taking place and the challenge of certain proliferating countries whose nuclear activities seem to be moving away from a peaceful course. For this reason, monitoring activities need value-added tools that can overcome deception activities. Satellite images and their analysis have established themselves as a mainstay tool in the IAEA's verification activities and its safeguards system, despite attempts to reduce their effectiveness by burying or covering the most facilities' vital parts.

Keywords

Satellite, intelligence, proliferation, safeguards, nuclear.

1 Introducción

La disuasión nuclear se refiere a un principio de las relaciones internacionales que trata de evitar un ataque nuclear basado en el potencial mismo de las armas nucleares. Todo el mundo podría convenir en la capacidad de destrucción de este armamento, sobre todo, teniendo en cuenta los efectos destructivos de *Little Boy* y *Fat Man* sobre Hiroshima y Nagasaki. Sin embargo, paradójicamente, siempre han existido dudas sobre su eficacia y eficiencia en el ámbito de la disuasión.

Desde el punto de vista militar, el resultado fue decisivo al provocar la derrota de Japón, pero, al mismo tiempo, se desveló su vertiente estratégica y su capacidad de proyección de fuerza. Las explosiones nucleares de Hiroshima y Nagasaki determinaron la capitulación japonesa el 2 de septiembre de 1945, iniciándose una nueva etapa histórica de la humanidad conocida como la Era Atómica (Calduch, 1991: 6).

En ese momento, solo Estados Unidos corría la carrera armamentística, lo que le situaba en un escalón por encima del resto de adversarios, ya que lideraba el monopolio nuclear. Situación que estaba condenada a desaparecer, precisamente, porque el resto de adversarios no iban a permanecer durante mucho tiempo en esa situación de desventaja tanto militar como estratégica. Esto propició la carrera armamentística entre Estados como Rusia, Francia, China o Reino Unido.

Esos cinco países terminaron por ser los Estados nucleares *de iure*, pero también existen Estados que han logrado ese estatus nuclear *de facto*, como Corea del Norte, la India, Israel o Pakistán y han puesto a prueba su capacidad armamentística, de modo que han llevado a cabo numerosos ensayos nucleares como muestra de su potencial militar.

En 1958, Thomas K. Finletter, quinto embajador de Estados Unidos para la OTAN dijo que «el desarme estaba a la orden del día». Sesenta y siete años después, la situación está girando hacia los 180 grados y el club de países nucleares corre el riesgo de incrementarse con más miembros. Además de la seria candidatura que se le adjudica a Irán para ser uno de los primeros Estados en destaparse como un país nuclear *de facto*, ya se asume como algo más que una intención la anunciada por Arabia Saudí y la ya histórica y conocida, aunque paralizada, aspiración turca.

El régimen de no proliferación nuclear basado durante 45 años en el Tratado de No Proliferación de armas nucleares (TNP) se enfrenta en la actualidad a importantes desafíos encabezados, sin duda, por el desarrollo de capacidades nucleares poco claras y muy significativas por el Gobierno iraní. Por otra parte, las necesidades energéticas mundiales y los problemas de abastecimiento a futuro han dado lugar a la consolidación de proyectos que hace años solo eran ideas o aspiraciones y donde la energía nuclear es

la respuesta a necesidades energéticas, lo que ha supuesto un salto cualitativo y cuantitativo en el desarrollo de esta tecnología de forma global.

Dado el carácter dual civil y militar de la tecnología nuclear, este proceso es un reto importante para la comunidad internacional, que debe perseverar en el mantenimiento de un equilibrio entre el progreso técnico y económico y la estabilidad mundial en el marco del TNP (Salazar, 2015).

Como se ve, la arquitectura internacional del régimen de no proliferación y desarme está cada vez más cuestionada y presionada, en un entorno de seguridad que, además, no le favorece. La agresión de Rusia sobre Ucrania que comenzó en el año 2022 y ya ha cumplido su tercer año, no ha hecho más que favorecer la corrosión de los ya oxidados anclajes de las iniciativas de desarme y, por ende, del Tratado de No Proliferación, su piedra angular.

Sergei Karaganov, uno de los arquitectos intelectuales de la política exterior rusa y director del muy influyente Consejo de Política Exterior y de Defensa, figura clave del pensamiento estratégico ruso y partidario del uso de armas nucleares en el actual conflicto con Ucrania, lo explica de forma espléndida y en pocas palabras. «El eslogan de hace medio siglo —La guerra nuclear nunca debe desatarse, porque no puede haber vencedores— es magnífico, pero también idealista. Como ha demostrado el conflicto de Ucrania, abre la puerta a grandes guerras convencionales. Y estas guerras pueden ser y serán cada vez más frecuentes y mortíferas, sin dejar de estar al alcance de la mano, a menos que se las contrarreste con una política activa de paz» (Laruelle, 2024).

Sin embargo, el marco geopolítico actual, como se ha visto no está en esa línea. Es cierto que, actualmente, no hay veinticinco potencias nucleares en el mundo como pronosticó la administración del presidente estadounidense John F Kennedy en 1960, pero no hay intenciones de apostar por el desarme. Al contrario, la competición y la desconfianza entre Estados están más vivas que nunca y pueden detectarse en el gasto militar y en los diferentes usos de la inteligencia artificial. Los Estados buscan mantener su seguridad y su supervivencia y esta propensión de ciertos países a «adquirir más y más poder con el fin de escapar del impacto del poder de los otros» fue interpretada también por John Herz en el concepto dilema de seguridad, refiriéndose a la propensión de ciertos países a caer en una espiral viciosa armamentística mutua que conduce de manera inexorable a la paradoja de la seguridad (Wheeler, 2007: 27).

Para poder frenar una carrera armamentística, se necesita un ecosistema geopolítico bipolar estable y, sin embargo, el ecosistema geopolítico que nos envuelve es multipolar e inestable donde, además, las nuevas tecnologías han ayudado a evolucionar los arsenales militares y las armas nucleares parecen haber recuperado su cuota de protagonismo, ya sea como

elementos coercitivos o disuasorios, lo que ha alentado una nueva carrera armamentística (Cartagena y Garrido, 2024).

Debido a este trasfondo, el concepto de proliferación horizontal ha emergido de nuevo a la actualidad. Este fenómeno, que tuvo su origen durante el periodo de la Guerra Fría, consiste en el aumento del número de Estados con capacidad nuclear militar y, actualmente, ha experimentado una evolución importante como consecuencia del cambio de circunstancias internacionales desarrollada en tres ejes fundamentales. Primero, en el aumento del poder destructivo de las armas nucleares. En segundo lugar, en las nuevas características sociopolíticas y económicas que presentan los Estados proliferadores pos Guerra Fría. Y, en tercer lugar, en el aumento de los riesgos que implican las armas nucleares para la paz y la seguridad internacional (Marrero Rocha, 2002).

Los riesgos que vierte la proliferación nuclear horizontal en la seguridad internacional son tan evidentes que se puede apreciar rápido su nexo con el sistema de salvaguardias y las actividades de monitorización que el OIEA lleva realizando durante casi setenta años con el objetivo de evitar la proliferación de armas nucleares y proporcionar garantías creíbles de que la obligación jurídica de los Estados, de utilizar la tecnología nuclear solo con fines pacíficos, se cumple.

El mantenimiento de un régimen de salvaguardias sigue siendo esencial, pero debe contar con el apoyo y el compromiso de todas las partes interesadas. Al mismo tiempo, este sistema debe apoyarse en un marco jurídico sólido, pero también, debe ir acompañado de los últimos avances e innovaciones científicas que aporten más firmeza al sistema de verificación para que no existan grietas que den lugar a nuevos programas nucleares sin detectar o para confirmar que esta tecnología se utiliza con fines exclusivamente pacíficos. Sobre todo, en un momento geopolítico difícil que demuestra la necesidad de renovar el compromiso con el principio de no proliferación (VV. AA., 2015: 2).

1.1 La necesidad de un sistema de salvaguardias

El OIEA ofrece una definición muy sencilla de las salvaguardias. Un conjunto de medidas técnicas que aplica el Organismo a las instalaciones y materiales nucleares. Se trata de verificar de forma independiente que las instalaciones nucleares de un Estado parte se utilizan de forma debida y el material nuclear no se desorienta hacia fines que no sean pacíficos, por medio de estas pautas técnicas. Estas medidas incluyen compromisos políticos, tratados multilaterales, así como otros acuerdos jurídicamente vinculantes en los que se inscriben los compromisos de no proliferación y, sobre todo, las salvaguardias del OIEA. Los Estados aceptan estas medidas

mediante la concertación de sus respectivos acuerdos de salvaguardias, por lo que terminan siendo obligaciones jurídicas que ellos mismos se comprometen a cumplir (IAEA, s. f.).

El mecanismo de las salvaguardias es homólogo a cualquier otro proceso de examen donde el último objetivo es que los procedimientos fomenten la confianza en la conducta de los Estados. Esto exige que los explotadores de instalaciones nucleares mantengan y declaren registros contables detallados de todos los movimientos y transacciones relacionados con materiales nucleares, lo que se traduce en que el Organismo monitoriza casi noventa instalaciones nucleares y varios centenares de otros lugares en 57 países mediante inspecciones periódicas. Los registros y auditorías se complementan con otras medidas como cámaras de vigilancia e instrumentación remota (World Nuclear Association, 2021).

El OIEA lleva, desde 1970, realizando inspecciones periódicas de las instalaciones nucleares, así como auditando el movimiento de materiales nucleares. Es por esto por lo que se puede afirmar que durante más de cincuenta años el Organismo ha impedido con éxito la diversificación de material fisionable para convertirlo en armas y ha alertado en múltiples ocasiones de actividades nucleares no declaradas.

La mayoría de los acuerdos de salvaguardias se han alcanzado con Estados no nucleares (NNWS) que, al mismo tiempo, son parte del TNP y se han comprometido a no desarrollar o adquirir armas nucleares. Sin embargo, curiosamente, dentro de la Unión Europea este sistema difiere.

El capítulo VII del Tratado de EURATOM, firmado en Roma el 27 de marzo de 1957, estableció su propio sistema de control de los materiales nucleares¹. Aunque en la práctica sea equivalente a un sistema de salvaguardias, no es un sistema de no proliferación de armas nucleares. Esto es así debido a que sus disposiciones no impiden el uso militar del material nuclear, solo es de obligado cumplimiento el declarar sobre el uso de este).

La entrada en vigor del TNP dentro de la Unión Europea (por entonces, la Comunidad Económica Europea) obligó a aplicar en paralelo los regímenes de salvaguardias de la Comunidad EURATOM y del OIEA. Para evitar duplicidad en las actividades de control y asegurar un uso racional de esfuerzos y recursos, los Estados miembros hicieron constar la condición de que los acuerdos de salvaguardias que se concertaran con el OIEA, *a posteriori* el Acuerdo recogido en el INFCIRC/193, tendría un ámbito de aplicación análogo al modelo marco del Organismo para la aplicación coordinada del sistema de salvaguardias, el documento INFCIRC/153.

¹ Las disposiciones del Capítulo VII del Tratado se desarrollan en el Reglamento Euratom 302/2005.

La aplicación de las salvaguardias sigue un ciclo anual y comprende cuatro procesos principales. La recopilación y evaluación de información pertinente para la aplicación de las salvaguardias; la elaboración de un enfoque concreto de salvaguardias para un determinado Estado destinadas a conseguir los objetivos de verificación establecidos; planificar, realizar y evaluar esas actividades diseñadas, ya sean sobre el terreno o de forma remota en la sede del Organismo para alcanzar los propósitos identificados y, por último, elaborar las conclusiones obtenidas basadas, obviamente, en el grado de cumplimiento (IAEA, s. f.).

Es de sobra evidente que la tecnología avanza y evoluciona de forma continua, lo que afecta a cualquier ámbito y, por tanto, a la esfera nuclear. El material y el número de instalaciones sometidas a Salvaguardias del Organismo crece de forma constante, lo que se ha traducido en quince nuevos acuerdos de salvaguardias en los quince últimos años treinta nuevos protocolos adicionales.

Las salvaguardias del OIEA tendrán que seguir evolucionando, precisamente, por la necesidad de introducir más mejoras y optimizar los procesos de garantía que dan lugar a unas salvaguardias creíbles. Es vital poder dar respuestas eficaces a rápidas a nuevas demandas de verificación y aplicar la tecnología más evolucionada. Tanto para el Organismo como para la sociedad global es necesario estar al tanto de posibles desarrollos fuera de los límites marcados por las salvaguardias.

Aunque el factor más importante del régimen de salvaguardias sea la presión internacional que se realiza para disuadir a un Estado de su intención de desarrollar un programa de armas nucleares, en ocasiones, la solución más eficaz a la proliferación es más política que técnica. Sin embargo, el mayor riesgo siempre recaerá en dos clases de Estados. Los países que no se han adherido al TNP y tienen importantes actividades nucleares no sometidas a salvaguardias, y los que sí se han adherido, pero hacen caso omiso de los compromisos contraídos en virtud de los tratados (World Nuclear Association, 2021).

Dentro de esta tesitura, se encuentran los casos de Irak, Irán y Corea del Norte, que ilustran tanto las fortalezas como las debilidades del sistema de salvaguardias internacionales. Irak e Irán aceptaron un sistema de salvaguardias en sus instalaciones declaradas y, al mismo tiempo, establecieron instalaciones y equipos en otros lugares no declarados en un intento de enriquecer uranio fuera de los límites marcados por el Organismo.

Corea del Norte utilizó reactores de investigación y desarrolló una planta de reprocesamiento para producir plutonio apto para armas, antes de que decidiera retirarse del TNP en el año 2003. Aunque, por fortuna, esas actividades fueron detectadas, actualmente Corea del Norte representa el mayor desafío al que se enfrenta el OIEA.

Por tanto, aunque el sistema de salvaguardias encierre un conjunto de actividades complejas que tengan como objetivo garantizar el uso pacífico de los desarrollos nucleares, este sistema de control requiere de herramientas de apoyo para monitorizar y analizar esas evoluciones técnicas. Los sistemas de información geográfica aportan un apoyo para la verificación más importante de lo que a priori puede pensarse.

1.2 *Cómo participan los sistemas de información geográfica en el sistema de salvaguardias*

El primer paso de la verificación es la información que aportan los Estados miembros al OIEA. Sin embargo, como se ha dicho ya, existen casos de Estados proliferantes fuera del Organismo, por lo que se necesitan herramientas en las que apoyar las tareas de verificación ajenas a los Estados implicados. En 1998, el OIEA promovió una investigación sobre la viabilidad y rentabilidad del uso de imágenes de satélite comerciales como medio de apoyo a la aplicación de las salvaguardias. Los resultados confirmaron que la alta resolución de las imágenes representaba una fuente de información más que significativa no solo para el seguimiento de las actividades nucleares, sino para la verificación de emplazamientos (Poucet, Contini y Bellezza, 2002).

El OIEA obliga a todos los Estados con instalaciones de enriquecimiento a supervisar todos los materiales fisibles conforme a ciertos protocolos y en caso de incoherencias o insuficiencia de datos, el Organismo realiza peticiones adicionales². Esta información se divide en tres modelos interconectados: topológico, funcional y operativo. El modelo topológico comprende todos los datos referenciados geográficamente representados, es decir, la localización del emplazamiento. En relación con el emplazamiento, se consideran varios mapas temáticos, por ejemplo, el mapa *raster* de disposición del emplazamiento, los límites de las instalaciones y las plantas relacionadas, las áreas de balance de materiales (áreas en las que se manipula el material nuclear), la ubicación de los puntos clave de medición asociados (puntos clave en los que se mide el material nuclear), la disposición de los

² Todos los Estados-No-Nuclearmente-Armados Partes en el TNP, así como los Estados Parte en los Tratados Sobre Zonas Libres de Armas Nucleares Regionales (ZLAN Tratados), están obligados a celebrar Acuerdos de Salvaguardias Amplias (CSA) con el OIEA. Tales acuerdos se celebran sobre la base del documento INFCIRC / 153 (Corregido). El Estado se compromete a aceptar las salvaguardias del OIEA en todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares con fines pacíficos en su territorio, bajo su jurisdicción o efectuadas bajo su control en cualquier lugar. Bajo estos acuerdos, el OIEA tiene el derecho y la obligación de garantizar que las salvaguardias se aplican en todo el material nuclear de esta índole con la exclusiva finalidad de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros artefactos explosivos nucleares. [sic] Traducción propia. Para consultar texto original ver: Circular Informativa OIEA, INFCIRC/153 (1971).

edificios, etc. En el modelo funcional técnico, la información se refiere a la descripción de las instalaciones nucleares, es decir, los procesos, las características técnicas de la instalación materiales utilizados y procedimientos, flujos de materiales, zonas de balance de materiales y los correspondientes puntos clave de medida, procedimientos, etc. (Poucet y Contini, 2000).

La información declarada se compara con los datos observados y con información de fuentes abiertas, de bases de datos especializadas, literatura científica, información interna del OIEA, así como con la cartografía de la zona, con el objetivo de verificar el modelo topológico declarado.

Dentro del OIEA, la responsabilidad de verificar que los Estados miembros cumplen sus acuerdos le corresponde al departamento de Salvaguardias y la División de Gestión de la Información (SGIM), que maneja la información geoespacial ayuda al Departamento de Salvaguardias en apoyo de su mandato por medio de la Sección de Análisis de Infraestructuras Estatales (ISI), dedicada al análisis de imágenes de satélites comerciales y la gestión de datos geoespaciales desde el año 2002.

Desde entonces, la información geoespacial y las imágenes de satélites comerciales se han convertido en una de las principales fuentes de información que contribuyen a la capacidad del OIEA para mejorar la eficacia de la aplicación de las salvaguardias, la confianza en las conclusiones de las salvaguardias y el proceso de toma de decisiones (Colakovic, Duckworth y Lafitte, 2023: 1).

La utilidad de las imágenes satélite dentro de las actividades de monitorización y verificación de las salvaguardias expuso que, por medio de ciertas imágenes, se podían verificar los mapas de los emplazamientos, detectar actividades no declaradas, nuevas actividades mineras, detectar cambios en instalaciones ya clausuradas, así como planificar la inspección de una instalación (IAEA, 1998).

Imágenes 5 m y hasta 10 m de resolución espacial se demostraron útiles para verificar la disposición de un emplazamiento y las imágenes de alta resolución disponibles en ese momento, de entre 1 y 2 m de resolución eran adecuadas para planificar inspecciones en los emplazamientos, ya que permitían distinguir múltiples características de una instalación y de sus alrededores, lo que ayuda a precisar su localización y las actividades que se hayan podido llevar a cabo dentro, en los alrededores o en el subsuelo. De este modo, los análisis de detección de cambios son muy útiles para detectar actividades no declaradas, aunque no el único, ya que la detección de fuentes de calor es una perspectiva muy interesante también para las actividades de monitorización (Truong, 2000 y Jasani y Larsson, 1998).

El ciclo de combustible nuclear engloba todas las actividades relacionadas con la producción de electricidad a partir de reacciones nucleares. Este

ciclo comienza con la extracción y la molienda del mineral de uranio. El uranio natural contiene dos isótopos: U_{235} y U_{238} . Para mantener la cadena de fisión, el contenido de U_{235} debe aumentar del 0,7 % al 34 %, lo que se consigue en las plantas de enriquecimiento. Por otro lado, el uranio natural hay que convertirlo en hexafluoruro de uranio (UF_6)³ y este en dióxido de uranio (UO_2), que posteriormente se prensa en pequeñas pastillas cilíndricas y se cargan en tubos que formarán las barras de combustible, ensambladas por conjuntos para formar los elementos del núcleo del reactor. En general, una central nuclear puede llegar a utilizar 75 toneladas de combustible al año.

La cadena de fisión que se produce dentro de un reactor nuclear produce calor y, a su vez, vapor que se reutiliza para mover las turbinas conectadas a generadores eléctricos. Este combustible se va gastando hasta que ya no puede ser reutilizado debido a la concentración de isótopos, lo que provoca que al menos un tercio de ese combustible tenga que ser cambiado cada año. Este combustible que se descarga del reactor emite radiación y calor, por lo que necesita ser almacenado en piscinas de agua durante meses, para que vaya enfriando. Por tanto, dentro de una instalación nuclear se tendrían dos fuentes caloríficas muy potentes.

Los satélites tienen la ventaja de buscar y localizar emplazamientos por medio de su frecuencia de visita y su resolución y, en la actualidad, los avances en ambas características les dotan de una capacidad de adquisición soberbia. Las plantas de reprocesamiento de uranio o plutonio viable para la fabricación de armas tienen unos rasgos muy distinguibles en imágenes satélite de 1 m de resolución como la cúpula o las torres de refrigeración de los reactores o las chimeneas, así como otras firmas de estructura visibles en las imágenes de alta resolución.

Por ejemplo, en una figura tomada por un satélite CORONA de la planta de reprocesamiento de Seversk, Rusia, el 15 de septiembre de 1971, ya se podía distinguir el edificio en forma de «cañón» (típico de las grandes plantas de reprocesamiento), así como la altísima chimenea, que se podía identificar de forma fácil por su larga sombra. Además, es factible identificar también el perímetro de seguridad o los edificios de enriquecimiento en las zonas de producción sur y norte, a partir de los cuales se podría estimar la escala de producción.

Para detectar los reactores de una instalación se identifican las torres de refrigeración o masas de agua natural, tomas y puertos de descarga, por ejemplo. Para localizar las plantas de reprocesamiento son muy útiles las chimeneas, como ya se ha visto, a través de su sombra, un edificio largo en forma de «cañón» o sus respiraderos, como también se pueden identificar los estanques o depósitos para residuos.

³ O se convierte en dióxido de uranio (UO_2), directamente.

Las plantas de enriquecimiento por gas suelen ser edificios de gran superficie, por lo que tienen tejados muy largos con múltiples aberturas de ventilación y torres de refrigeración. También se podrá localizar más o menos cerca un río o un lago, así como una central o subestación eléctrica (Zhang, 2001) (figura 1).

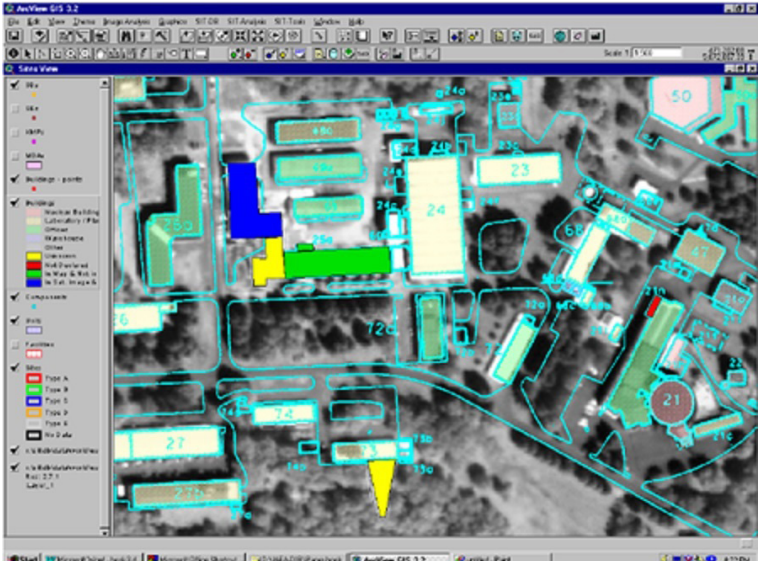


Figura 1. Ejemplo de una actividad de verificación de un mapa del emplazamiento sobre una imagen de satélite IKONOS. Fuente: Poucet, A., Contini, S. y Bellezza, F. (2001). A Gis-Based Support System for Declaration and Verification. IAEA-SM-367/CD. En: Symposium on international safeguards: Verification and nuclear material security. *Proceedings*. Viena

El conjunto de datos originales e interpretados, así como la información extraída de fuentes abiertas y la aportada por los Estados, generan la base de datos geoespacial y la base de datos de observación estructurada (SOM), forman un conjunto de datos geoespaciales que dan lugar a productos como planos de emplazamientos georreferenciados, mapas temáticos o geoportales. La gestión estructurada de las observaciones complementa el conjunto de datos geoespaciales de base y proporciona un sistema que permite recoger observaciones adicionales realizadas dentro de un marco estructurado (SOM) que se recopilan como parte del proceso de análisis de imágenes y, por lo general, se refieren a características efímeras que se pueden localizar en una figura como, por ejemplo, el movimiento de equipos de construcción y sus equipos de apoyo que, por lo general, no van a formar parte de los datos geoespaciales de base de la instalación pero sí que implican análisis más amplios del lugar (Colakovic, 2023: 7).

Como se ha podido analizar a lo largo del texto, la alta resolución de las imágenes hace cada vez más complicado poder ocultar ciertas actividades

de proliferación, sin embargo, en contrapartida a esto, algunos Estados comenzaron hace años ya a adoptar contramedidas antisatélite y ocultar sus instalaciones en el subsuelo, a pesar del gran coste que supone y que, una vez descubiertas, las actividades de monitorización continuarían sobre ese emplazamiento, ya que existen características que pueden seguir siendo detectables como carreteras de acceso, vías férreas o las entradas o salidas del emplazamiento.

Un ejemplo de instalación nuclear subterránea es la planta de reprocesamiento del complejo nuclear israelí de Dimona, que se terminó de construir a mediados de la década de 1960, con una capacidad de reprocesamiento de plutonio de entre cinco y diez cabezas nucleares al año. En una figura IKONOS de 2 m de resolución tomada el 4 de julio del año 2000 y en otras imágenes desclasificadas de este emplazamiento, pueden verse de forma clara la alta chimenea asociada a la planta de reprocesamiento, así como las vallas de seguridad que rodean el complejo, el edificio del reactor y las torres de refrigeración mecánica —con dos respiraderos— son claramente visibles en las imágenes (Zhang, 2001: 7).

Aunque, sin duda, los dos Estados proliferantes que han trabajado más por ocultar sus instalaciones de los esfuerzos del OIEA han sido Irán y Corea del Norte.

2 Un ejemplo práctico: el caso de Corea del Norte

El valor de las imágenes por satélite para la aplicación de las salvaguardias se demuestra en el caso de Corea del Norte. Las imágenes ayudan al OIEA a monitorizar la evolución del programa nuclear de este país proliferante, aunque no se puedan llevar a cabo inspecciones físicas sobre el terreno y en el caso del seguimiento y evolución de Yongbyon es especialmente importante (Quevenco, 2016).

Resumido en pocas líneas, los orígenes del problema nuclear de Corea del Norte nacen en a finales de 1945 con la división de la península a la altura del paralelo 38°. Al norte, se estableció un régimen comunista liderado por Kim Il-Sung y, en el sur, un Gobierno militar apoyado por Estados Unidos. Cinco años más tarde, con la invasión de la parte sur por parte de Corea del Norte, los dos países se enfrentaron durante tres años en una guerra (Garrido Rebolledo, 1994: 104-113).

Al término de las hostilidades, la presencia norteamericana se intensificó y, en 1953, Seúl firmó un pacto de seguridad con Estados Unidos que permitió la instalación de misiles norteamericanos tipo «Matador» en terreno surcoreano, hecho que violó algunas de las disposiciones del «Acuerdo de Pam Mun Jon» de 1953 y provocó la reacción del régimen de Kim Il-Sung, que en 1959 comenzó a mostrar interés en desarrollar un programa nuclear

ambiguo⁴. En 1965, Moscú le suministró a Corea del Norte su primer reactor de investigación de 8 MWt de potencia, un reactor nuclear experimental tipo LRT-2M, reactor que no fue sometido a Salvaguardias hasta 1977.

Corea del Norte se adhirió al TNP en 1985 y un acuerdo de garantías con el OIEA en 1992, pero rechazó las inspecciones propuestas por el Organismo, en concreto, sobre su Centro Nuclear de Yongbyon (Bunn, 2005: 8). En 1993, los satélites norteamericanos detectaron la construcción de instalaciones sospechosas que podían albergar actividades de reprocesamiento de plutonio, lo que provocó que el Gobierno de Pyongyang amenazara con abandonar el TNP. Esa crisis fue resuelta con la firma de un Acuerdo-Marco en 1994 entre Estados Unidos y Corea del Norte. En virtud de ese acuerdo, el Gobierno de Pyongyang se comprometió a desmantelar su programa nuclear, no abandonar el TNP y aceptar las Salvaguardias del OIEA. Sin embargo, el 10 de enero de 2003, Corea del Norte abandonó el Tratado de No Proliferación Nuclear y el 9 de octubre de 2006 realizó su primer ensayo nuclear.

Las estimaciones más recientes sobre el arsenal nuclear de Corea del Norte datan de 2023 y cifran el rango de cabezas nucleares entre 35 y 65



Figura 2. Análisis de la imagen del Complejo Nuclear de Yongbyon, 4 de octubre de 2023. Fuente: Albright, D., Burkhard, S., Cheng, V. y Faragasso, S. (2024). North Korea's ELWR: Finally Operational After a Long Delay. Institute for Science and International Security. Disponible en: <https://isis-online.org/isis-reports/detail/north-koreas-elwr-finally-operational-after-a-long-delay/10#images>

⁴ Este Acuerdo era contrario a la introducción de nuevos tipos de armas, o de modelos más avanzados de las mismas en el territorio de la península coreana. Para ampliar información sobre el programa nuclear y de misiles de Corea del Norte, ver: VV. AA. (2009a y 2009b).

unidades. En 2024, se detectó actividad en las instalaciones del Complejo Nuclear Yongbyon, que albergan el reactor experimental de agua ligera (ELWR), aunque no se ha podido llegar a determinar si opera alcanzando su actividad máxima de cien megavatios térmicos (MWth).

Su actividad se detectó gracias a las descargas de agua al cauce del río próximo a la instalación. Ese punto de descarga se construyó hace más de diez años, en 2013, y parece estar conectado directo al reactor. Por tanto, es una parte crítica del sistema secundario de enfriamiento y las descargas frecuentes de agua caliente al cauce del río son evidencias del funcionamiento del reactor.

El punto de descarga del agua de refrigeración del reactor se encuentra hacia el sur de la estación de bombeo y a unos 85 m de la presa del embalse. La primera descarga fue detectada en las imágenes del 4 de octubre de 2023, siendo visible en diferentes imágenes de forma constante hasta enero de 2024. En las imágenes tomadas en invierno, es mucho más fácil apreciar que el agua está caliente, ya que el río está congelado y el terreno está cubierto de hielo y nieve, excepto en las zonas donde pasa el agua caliente. Otra zona donde se puede apreciar la nieve derretida o la ausencia de ella es en los techos planos del edificio donde se alojan las turbinas del reactor, por lo que se puede confirmar con alto grado de probabilidad que el reactor está funcionando, aunque no se pueda determinar su grado de rendimiento.

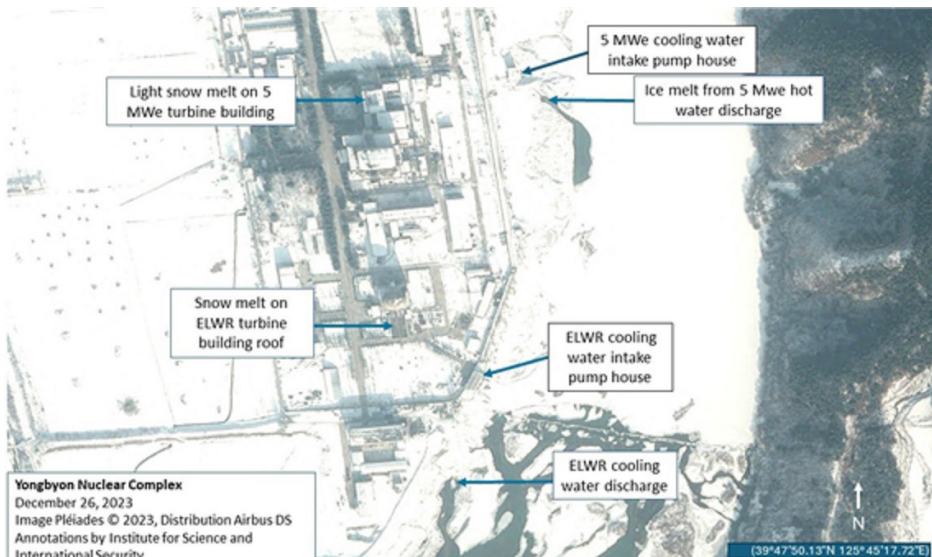


Figura 3. Análisis de la imagen del Complejo Nuclear de Yongbyon del 26 de diciembre de 2023. Fuente: Albright, D., Burkhard, S., Cheng, V. y Faragasso, S. (2024). North Korea's ELWR: Finally Operational After a Long Delay. Institute for Science and International Security. Disponible en: <https://isis-online.org/isis-reports/detail/north-koreas-elwr-finally-operational-after-a-long-delay/10#images>

3 Conclusión

Los avances en la tecnología de imágenes satélite han mejorado la resolución y la claridad de tal manera que, hoy en día, se han convertido en un pilar fundamental en la monitorización de las actividades de proliferación, debido principalmente a que las imágenes electro-ópticas de alta resolución o las de tipo SAR pueden capturar detalles de hasta 30 cm por píxel en tomas nocturnas o condiciones climatológicas adversas, lo que ofrece un valor añadido a las labores de inteligencia.

Tanto las operaciones militares como las de seguridad y defensa necesitan de herramientas que les permitan obtener información de calidad, datos que poder analizar y transformar en inteligencia en tiempo y forma, ya que, si reducir la incertidumbre y poder elaborar escenarios futuros, son pilares fundamentales en la disciplina de inteligencia, se antojan mucho más imprescindibles si se tienen que aplicar al ámbito de la proliferación nuclear.

Aunque el análisis de imágenes satélite se aplica como herramienta de apoyo a las salvaguardias y el Protocolo Adicional del Organismo desde el año 2002, se ha comprobado que se ha convertido en una herramienta fundamental en las labores de monitorización del OIEA y que participa de forma transversal en todas las actividades relacionadas, desde la planificación de una inspección hasta la comprobación de los datos suministrados por los Estados asociados a los emplazamientos nucleares o la detección de localizaciones no declaradas.

Sin embargo, también se ha comprobado cómo, con el tiempo, de forma lógica, se desarrollan actividades contrasatélite con el objetivo de limitar o inutilizar sus ventajas, por lo que se asume que las formas más avanzadas de teledetección como las imágenes térmicas, hiperespectrales o las tipo SAR, radar de apertura sintética, terminarán siendo contrarrestadas por alguna medida que desafíe sus capacidades o las capacidades de los analistas para tratar de encontrar evidencias, de la misma forma que se ha visto que se lleva a cabo en la actualidad, con las imágenes de instalaciones que han sido total o parcialmente soterradas.

Disponer de un catálogo más amplio de satélites comerciales, así como sus imágenes, no solo aumentaría la discusión y el monitoreo de ciertas localizaciones, sino que dificultaría las labores de decepción a los organismos de seguimiento y vigilancia como el OIEA. Además, un escrutinio desde múltiples frentes y grupos de las diferentes afirmaciones de la comunidad de inteligencia imposibilitaría bastante desafiar los tratados internacionales, ayudaría a las labores de verificación y reduciría el riesgo de un conflicto por un error en la interpretación de evidencias provocado por los efectos secundarios de una carrera armamentística.

Bibliografía

- Bunn, G. (2005). The world's non-proliferation regime in time. *IAEA Bulletin*. IAEA. N° 46/2, p. 8. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/46203590809_es.pdf
- Calduch, R. (1991). Relaciones Internacionales. Madrid, Ediciones Ciencias Sociales, p. 6.
- Cartagena, I. y Garrido Rebolledo, V. (2024). *La roca de Sísifo: pasado, presente y futuro del régimen de no proliferación nuclear*. J.B. Bosch.
- Colakovic, M., Duckworth, S. y Lafitte, M. (2023). *Geospatial data capabilities to support safeguards understanding and awareness*. Institute of Nuclear Materials Management, p. 1.
- Garrido Rebolledo, V. (1994). Corea del Norte: Entre el desarme y el rearme nuclear. *Asistencia Humanitaria: Vida o Muerte*. N.º 32-33, pp. 104-113.
- IAEA. (1998). *Technical Workshop on Safeguards: Sources and applications of Commercial Satellite Imagery*. Viena.
- IAEA. (s. f.). Safeguards explained [en línea]. Safeguards and verification, Basics of IAEA Safeguards. [Consulta: 2025]. Disponible en: Nuclear safeguards explained | IAEA
- Jasani, B. y Larsson, C. (1998). Security implications of remote sensing. *Space Policy*. 4(1), pp. 46-59.
- Laruelle, M. (2024). El multilateralismo nuclear de Karaganov [en línea]. *El Grand Continent*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://legrand-continent.eu/es/2024/12/02/el-multilateralismo-de-karaganov/>
- Marrero Rocha, I. (2022). *La proliferación nuclear horizontal en el nuevo régimen de seguridad* [tesis doctoral]. Director, Diego J. Liñán Nogueras. Granada, Universidad de Granada.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (1971). *Estructura y contenido de los acuerdos entre los Estados y el Organismo requeridos en relación con el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares*. Circular Informativa OIEA, INFCIRC/153. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc153_sp.pdf
- Poucet, A., Contini, S. (2000). Use of Geographical Information Systems and Satellite Images for Safeguards. En: Foggi, C. (ed.). *Proceedings of the ESARDA Seminar on Strengthening of Safeguards: Integrating the New and the Old*. Dresden, EURReport 19587.
- Poucet, A., Contini, S. y Bellezza, F. (2002). GIS and satellite images in nuclear safeguards. En: Brebbia y Pascolo (eds.). *Management Information Systems*. MIT Press.

- Quevenco, R. (2016). Completing the picture: using satellite imagery to enhance IAEA safeguards capabilities. *IAEA Bulletin*.
- Salazar, Gonzalo de. (2015). El Tratado De No Proliferación de Armas Nucleares: los temas clave en la Conferencia de examen en 2015. *Revista UNISCI*. 38.
- Truong, Q. S. B. (2000). Potential Applications of Commercial Satellite Imagery in International Safeguards. En: Foggi, C. (ed.). *Proceedings of the ESARDA Seminar on Strengthening of Safeguards: Integrating the New and the Old*. Dresden, EURReport 19587.
- VV. AA. (2009a). North Korea's Chemical And Biological Weapons Programs. *Asia Report*. International Crisis Group. n.º 167.
- VV. AA. (2009b). North Korea's Nuclear And Missile Programs. *Asia Report*. International Crisis Group. N.º 168.
- VV. AA. (2015). IAEA Safeguards: serving nuclear non-proliferation. IAEA, p. 2.
- Wheeler, N. y Booth, K. (2007). *The Security Dilemma. Fear, Cooperation and Trust in World Politics*. Londres, MacMillan Palgrave, p. 27.
- World Nuclear Association. (2021). Safeguards to Prevent Nuclear Proliferation [en línea]. Safety and Security. [Consulta: 2025]. Disponible en: Safeguards to Prevent Nuclear Proliferation - World Nuclear Association
- Zhang, H. (2001). Strengthening IAEA Safeguards using high resolution commercial satellite imagery. IAEA-SM-367/16/01. En: IAEA (ed.). *Symposium on International Safeguards: Verification and Nuclear Material Security*. Vienna.