

Verificaciones remotas, una alternativa a las inspecciones: estudio de caso en el uso de medidores nucleares en una refinería

*Remote verification as an alternative to inspection:
A case study on the use of nuclear gauges in a refinery*

Andrea Sánchez Galindo¹, Yonatan Zuleta Ochoa¹, Juan Guillermo Ramírez González¹, Carolina Osorio Castrillón¹

Citación: A. Sánchez Galindo, Y. Zuleta Ochoa, J. G. Ramírez González y C. Osorio Castrillón, “Verificaciones remotas, una alternativa a las inspecciones: estudio de caso en el uso de medidores nucleares en una refinería”, *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, n.º 5, pp. 66-83, 2021. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.5.2021.573>

Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, 5, 66-83, 2021
Recibido: 29 de marzo de 2021
Aceptado: 24 de junio de 2021
Publicado en línea: 9 de agosto de 2021
Doi: <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.5.2021.573>



Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0.

Resumen

Las medidas de salud pública adoptadas para mitigar la propagación de la pandemia del covid-19 han incidido en el cumplimiento de las funciones reguladoras del uso de materiales radiactivos, en especial en lo referente a la periodicidad de las inspecciones de las instalaciones y actividades. Teniendo en cuenta que Colombia no ha sido ajena a esta situación, se planteó un estudio de caso para corroborar cuáles de los requisitos reglamentarios y condiciones especificadas en la autorización, que convencionalmente se verifican mediante visitas presenciales, pueden ser verificados de manera remota mediante herramientas tecnológicas; a su vez, para identificar los beneficios de este tipo de verificaciones y las posibles limitaciones. Dado que el uso de medidores nucleares es hoy la práctica más representativa del país con respecto al número de instalaciones en operación, se escogió para este estudio de caso a la Refinería de Cartagena S.A.S., instalación con mayor cantidad de fuentes utilizadas en medidores nucleares. Las verificaciones remotas se limitaron a las disposiciones de protección radiológica, con especial atención en aquellas comprobaciones que no pueden ser suplidas mediante soportes documentales, como la verificación del inventario de fuentes radiactivas, la medición de los niveles de radiación y las entrevistas a los trabajadores ocupacionalmente expuestos. En la etapa de planificación, fue necesario realizar varias mesas de trabajo con la entidad explotadora para delimitar el alcance del estudio, seleccionar las herramientas tecnológicas y de comunicación, y definir los participantes. Durante la etapa de ejecución, se presentaron inconvenientes de conectividad y restricciones de acceso por

¹ Línea de investigación en Seguridad Radiológica del Grupo Asuntos Nucleares, Dirección de Asuntos Nucleares, Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.

Autor de correspondencia: Andrea Sánchez, asanchezg@sgc.gov.co

causas externas; sin embargo, fue posible cubrir todos los tipos de verificaciones planteadas –aunque con una menor cobertura o para menor cantidad de fuentes–, y obtener las correspondientes evidencias. Se observó que, garantizando una adecuada planificación y con la disponibilidad de los recursos tecnológicos necesarios, en ambas partes, es posible que las verificaciones remotas se constituyan en una alternativa a las inspecciones reglamentarias ante la situación de pandemia y para condiciones futuras. De este modo, las verificaciones remotas pueden ser un mecanismo adicional para el cumplimiento de las responsabilidades del Órgano Regulador mediante las cuales se genera información útil para la mejora de la inspección, para procesos de entrenamiento y fomento de la cultura de seguridad.

Palabras clave: instalación radiactiva, protección radiológica, control regulatorio, medidores nucleares, verificación remota, covid-19.

Abstract

The public health measures adopted to mitigate the spread of the COVID-19 pandemic have had an impact on compliance with regulations on the use of radioactive materials, especially with regard to the periodicity of inspections of facilities and activities. Considering the prevalence of COVID-19 in Colombia, a case study was performed to determine which regulatory requirements and conditions that are conventionally verified through on-site visits can be verified remotely using technological tools, as well as to identify the benefits and potential limitations of remote verification. As the use of nuclear gauges is currently the most representative practice for the number of facilities in operation in Colombia, the case study was performed on the Cartagena Refinery S.A.S., the facility with the largest number of sources used in nuclear gauges. The remote verifications were limited to radiation protection inspections, with particular attention being given to those verifications that cannot be supplied by documentary evidence, such as the verification of the inventory of radioactive sources, measurement of radiation levels and interviews with occupationally exposed workers. During the remote visit planning stage, several working groups in the operating entity were convened to delimit the scope of the study, select technological and communication tools, and identify participants. During the execution stage, connectivity problems and access restrictions were encountered due to external causes; however, it was possible to cover all the types of verifications proposed—albeit with less coverage or fewer sources—and to obtain the corresponding evidence. With proper planning and the availability of the necessary technological resources on both the regulators and participants, remote verifications were found to have the potential to be an alternative to regulatory inspections in the face of the current pandemic scenario and further developments. In this way, remote verifications can be an additional mechanism for the fulfillment of the responsibilities of a regulatory body, generating valuable information for improving inspection and training processes and promoting a culture of safety.

Keywords: radioactive facility, radiation protection, regulatory control, nuclear gauges, remote verification, COVID-19.

1. Introducción

La rápida propagación del covid-19 exigió a los gobiernos de todo el mundo la implementación de estrictas políticas con el fin de mitigar la tasa de infección del virus, recurriendo a mecanismos como el distanciamiento social, restricciones de movilidad y el cierre de fronteras [1], [2]. Este tipo de decisiones gubernamentales tienen un profundo impacto en el desarrollo socioeconómico de los países [3]. En el caso de América Latina y el Caribe, se espera que los efectos sean aún más profundos debido a economías frágiles y desigualdades sociales respecto a los países desarrollados [4].

En particular, la pandemia de covid-19 compromete el uso de fuentes de radiación y la regulación asociada, lo que impacta en aspectos financieros, humanos, logísticos y demás elementos de la infraestructura de la seguridad radiológica. En este sentido, las medidas adoptadas por los gobiernos afectan directa o indirectamente las funciones regulatorias de los órganos de control de material radiactivo, en especial las relativas a las inspecciones y disposiciones coercitivas, en donde, por ejemplo, se ha reportado que los inspectores y personal de las instalaciones no han tenido acceso a las entidades debido al distanciamiento social, restricciones de los viajes de servicio, limitación en el transporte, porque se restringe la entrada a las instalaciones o por el cese temporal de estas [5], [6].

Si bien el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y los órganos reguladores de material nuclear y radiactivo han reportado la ejecución de las actividades de control, al aplicar un enfoque graduado y adaptando su programa de inspecciones para responder a las dificultades que plantea la pandemia [7], [8], a la fecha no existen guías que permitan identificar los recursos y metodologías necesarias aplicables a las diferentes prácticas radiactivas y condiciones particulares de cada país. De todas maneras, la imposición reglamentaria del aislamiento social ha abierto la discusión de la factibilidad de la realización de inspecciones remotas [9]-[11] y ha motivado a que algunos Estados miembros implementen este tipo de verificaciones en instalaciones prioritarias [12].

En Colombia, las medidas para la atención de la emergencia sanitaria y el mantenimiento del orden público en el marco de la pandemia por covid-19 incluyeron restricciones

a la movilidad, las cuales se implementaron inicialmente a través del Decreto 457 de 2020¹ [13] y se instó a que los organismos y entidades del sector público priorizaran el trabajo en casa para los servidores públicos [14]. Tal como ocurrió en el escenario global, el número de inspecciones a instalaciones radiactivas disminuyó de manera significativa. Únicamente se han hecho inspecciones por solicitudes de autorización que implican el inicio de operación de una instalación, y cuyo retraso podría generar afectaciones económicas a los usuarios, o en algunas situaciones relacionadas con la ocurrencia de incidentes radiológicos. El Servicio Geológico Colombiano, en ejercicio de las funciones delegadas por el Ministerio de Minas y Energía como Autoridad Reguladora Nuclear [15], adelantó 21 inspecciones en el transcurso de 2020 en contraste con la media de inspecciones en años anteriores² [16]. No obstante, se ha mantenido el control regulatorio mediante los trámites de autorización que implican verificaciones documentales y reuniones por teleconferencia.

Ante la situación actual de pandemia, que ha dificultado efectuar las inspecciones de control regulatorio con la periodicidad prevista en la normativa [17], se contempló iniciar un estudio de caso que permitiera identificar cuáles aspectos relacionados con el programa de protección radiológica pueden ser verificados mediante visita remota a las instalaciones radiactivas. Para esto, se optó por una instalación en la cual se utilizaran medidores nucleares, por ser esta práctica la más representativa en el país ($n = 178$; 36,7 %) en cuanto al número de instalaciones en operación [6]. La Refinería de Cartagena S. A. S. sirvió como piloto para este estudio de caso, ya que es en Colombia la instalación radiactiva que utiliza mayor cantidad de medidores nucleares. El alcance de las verificaciones se delimitó a los aspectos del programa de protección radiológica regularmente verificados mediante inspecciones, para los cuales, hasta ahora se ha considerado indispensable proceder con observaciones *in situ*. En este sentido, se pretende corroborar si las verificaciones remotas en las instalaciones radiactivas pueden ser una alternativa a las inspecciones de control regulatorio, identificar las ventajas y limitaciones de su realización.

¹ Decreto 457 de 2020, documento derogado el 13 de abril de 2020. En el marco de la emergencia sanitaria se han expedido los Decretos 531, 593, 636, 749, 990, 1076, 1168 de 2020 (todos derogados actualmente) y el Decreto 39 de 2021 (vigente).

² El Servicio Geológico Colombiano, a través del Grupo de Licenciamiento y Control, adelantó 87 y 64 inspecciones en 2018 y 2019, respectivamente.

2. Metodología

2.1. Contexto normativo y alcance del estudio

En la reglamentación colombiana, las inspecciones se definen como el “examen, observación, medición o prueba que se realiza para evaluar estructuras, sistemas y componentes y materiales, así como actividades operacionales, procesos técnicos, procesos de organización, procedimientos y la competencia del personal” [17]. Según el OIEA, las inspecciones a las instalaciones y actividades deben ser ejecutadas por el Órgano Regulador para verificar que la parte autorizada, o explotador, cumpla la reglamentación y las condiciones establecidas en la autorización; pueden ser anunciadas o no, deben ser proporcionadas a los riesgos radiológicos, es decir con aplicación del enfoque graduado, y no suplen ni disminuyen la responsabilidad primordial de la parte autorizada con respecto a la seguridad [18]. Además, su finalidad es constituirse como una comprobación independiente para verificar que la entidad explotadora cumple con los objetivos de seguridad prescritos o aprobados por el Órgano Regulador [19], [20]. La finalidad de las inspecciones reglamentarias se logra confirmando que:

- » Se cumple con las leyes, reglamentos y condiciones de autorización aplicables y todos los códigos, guías, especificaciones y prácticas pertinentes.
- » Se cuenta con un sistema de gestión eficaz, una sólida cultura de seguridad y sistemas de autoevaluación para garantizar la seguridad de la instalación o práctica y la protección de las personas y el medio ambiente.
- » La calidad y el comportamiento requeridos se consiguen y se mantienen en los elementos y actividades importantes para garantizar la seguridad durante toda la vida útil de la instalación o actividad.
- » Las personas empleadas por el explotador (incluidos los contratistas) poseen la competencia necesaria para desempeñar eficazmente sus funciones.
- » Las deficiencias y desviaciones son identificadas y se corrigen o justifican sin demoras indebidas.
- » Se toma nota de las enseñanzas deducidas y estas se comunican a otros explotadores y suministradores, así como al Órgano Regulador, según corresponda.
- » Cualquier otra cuestión de seguridad que no esté especificada en la autorización ni se aborde en los reglamentos se identifica y se trata adecuadamente.

Para el caso de inspecciones a instalaciones que utilicen medidores nucleares, la revisión o verificación de los aspectos anteriores se puede hacer de manera modular, agrupándose en los 16 apartados mostrados en la tabla 1 [19], [20]. Adicionalmente, en la tabla se presenta la comparación entre lo recomendado por el OIEA a verificar en una inspección reglamentaria con respecto al alcance de las verificaciones remotas realizadas en este estudio.

Tabla 1. Aspectos por verificar en inspecciones reglamentarias

Aspectos por verificar	Estudio de caso
Modificaciones y cambios del programa	×
Historial de inspecciones y aplicaciones coercitiva	×
Historial de incidentes/sucesos	×
Organización y ámbito de aplicación del programa	✓
Auditorías y exámenes internos	×
Recepción y transferencia de fuentes de radiación	×
Transporte de las fuentes radiactivas	×
Señales de advertencia y etiquetado	✓
Notificaciones e informes	×
Casos de incumplimiento y otras cuestiones de seguridad	×
Personal contactado	✓
Formación e instrucción de los trabajadores	×
Instalaciones y equipos	✓
Fuentes de radiación	✓
Vigilancia radiológica individual de los trabajadores	✓
Mediciones independientes y de confirmación	×

Nota: la agrupación de los aspectos por verificar se propone con base en las recomendaciones del OIEA establecidas en los documentos GSG-13 y IAEA-TECDOC-1526.

Así, el alcance del estudio de caso se limitó a las verificaciones que requieren observación *in situ*. Es decir, se omitieron aquellas en las que se pudiera constatar el cumplimiento de los requisitos de seguridad mediante comprobaciones documentales previas o trámites no presenciales entre la entidad explotadora y el Órgano Regulador, como notificaciones e informes anuales sobre las condiciones de protección radiológica y seguridad física de la instalación [17], [18], [21]. Además, en las verificaciones se contemplaron los siguientes aspectos específicos para la práctica [22]:

- » Comprobación de que el inventario de material radiactivo correspondiera con el autorizado. Observación y toma de evidencia de la plaqueta de los medidores nucleares, en la cual se pudiera apreciar el fabricante, modelo y serie de la fuente.

- » Mediciones de los niveles de radiación alrededor de los medidores nucleares y confirmación del cumplimiento de los niveles autorizados. Se planteó el monitoreo en los puntos establecidos en el Manual de Protección Radiológica de la instalación.
- » Observación del uso de los medidores nucleares y entrevistas asociadas a los procedimientos de uso seguro.
- » Comprobación de las disposiciones de protección y seguridad de las fuentes de radiación en uso, como señalización y controles de acceso en zonas clasificadas, disposición de barreras físicas que impidan la exposición inadvertida al haz de radiación y disposición de blindajes adicionales.
- » Disponibilidad y funcionamiento de los equipos de protección radiológica: intensímetros y dosímetros de lectura directa.
- » Entrevistas y observaciones durante el recorrido para corroborar el cumplimiento de los procedimientos del uso de los medidores nucleares, verificaciones de inventario, mantenimientos periódicos e idoneidad del perso-

nal respecto al uso de los equipos de protección radiológica y diligenciamiento de registros.

2.2. Etapas

En la figura 1 se muestra la metodología planteada para el estudio de caso. Al menos tres etapas secuenciales son necesarias para la ejecución de la visita remota de verificación: preparación, ejecución e informes posteriores.

En la etapa de *planificación*, después de concertar con la entidad explotadora la realización del estudio, se recolecta la información previa necesaria, referente a la autorización, manuales y algunos registros. Esta constituye el insumo primordial para definir el alcance de la visita, además, porque es más conveniente verificar con anterioridad estos documentos o con posterioridad a la ejecución de las verificaciones remotas (en la etapa de informes posteriores) y no durante su realización. En las reuniones preliminares se concreta el alcance de las verificaciones remotas y el recorrido a seguir en la instalación, se definen los recursos necesarios y los participantes de ambas partes, especificando su rol durante las

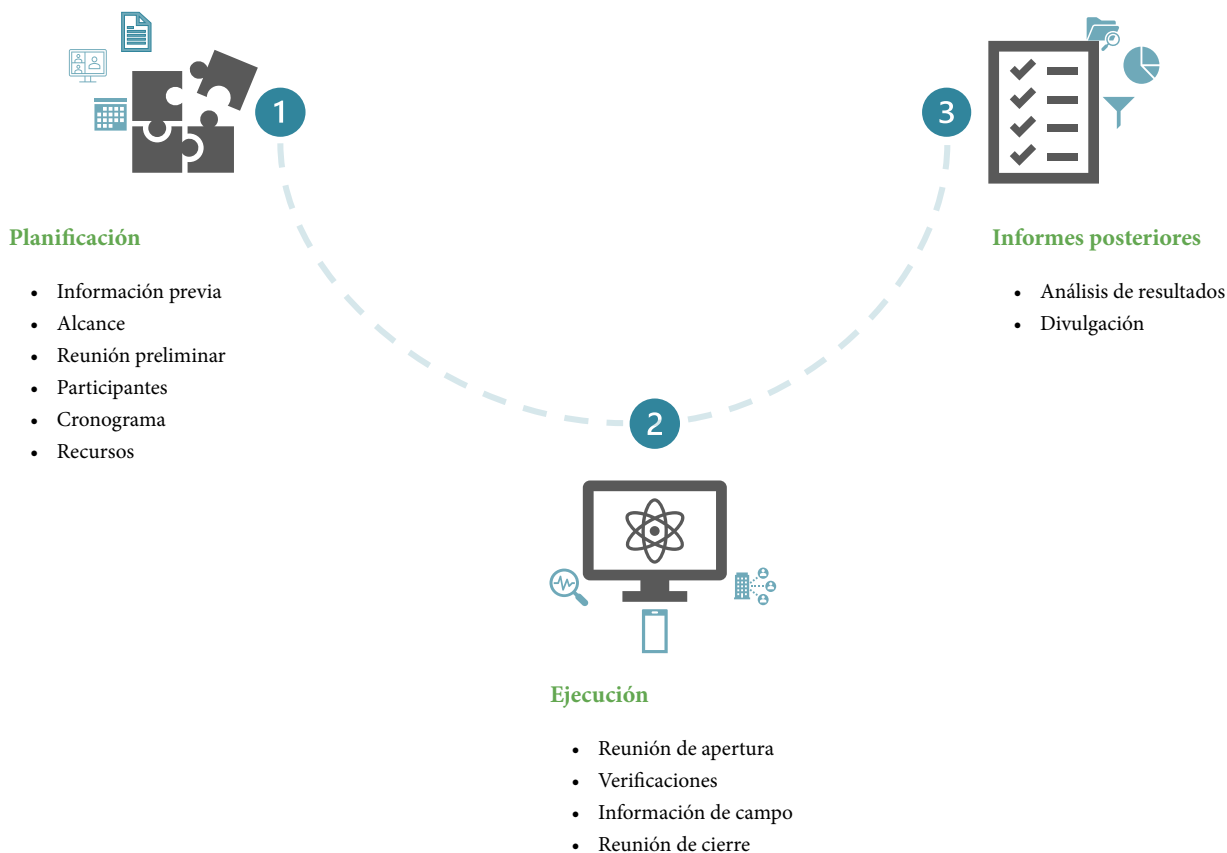


Figura 1. Metodología para el estudio de caso

verificaciones. Además, se definen las herramientas tecnológicas de la información y comunicación a utilizar, asimismo, se establece un protocolo para garantizar la comunicación entre las partes y para el almacenamiento de la evidencia (fílmica y fotográfica) que soporta las verificaciones adelantadas. De otra parte, teniendo en cuenta las políticas de confidencialidad y los protocolos de seguridad de la entidad explotadora, se tramitan, de ser necesario, las autorizaciones previas para el uso de dispositivos digitales y transmisión de imágenes. A su vez, se hacen pruebas de conectividad, lo cual es fundamental para verificar que en las diferentes zonas de la instalación se dispone de conexión estable y que la intercomunicación entre las partes es fluida y se presta para que el operador atienda instrucciones. Resultado de las reuniones preliminares y de las pruebas de conectividad se concreta el plan de verificaciones remotas, el cual contempla los objetivos, el alcance e instrucciones de la visita al explotador.

La etapa de *ejecución* consta de una reunión de apertura, reconocimiento del sitio, verificaciones, entrevistas remotas y reunión de cierre. En general, esta fase se ciñe al plan de visita diseñado en la etapa anterior; sin embargo, se tiene previsto que puedan presentarse fallas en la comunicación y transmisión de información o situaciones externas (asociadas a la operación de la planta, factores climáticos, etc.) que afecten el cronograma. Por medio de las herramientas tecnológicas escogidas se efectúan las observaciones, verificaciones o entrevistas planteadas. Según lo acordado en la planificación, se debe registrar la evidencia visual mediante grabación de la visita, capturas de pantalla o toma de fotografías o videos *in situ* por el personal de la instalación. Esto último es una alternativa, si se cuenta con baja resolución de la información transmitida durante la visita remota por problemas de conectividad o de la plataforma escogida. No se tiene previsto examinar registros adicionales durante las verificaciones remotas; no obstante, los registros diligenciados en estas, por parte del personal en campo, deben ser suministrados al equipo verificador al finalizar la actividad.

Finalmente, en la etapa de *informes posteriores*, considerando que este estudio de caso está por fuera del marco de las funciones regulatorias, desde la etapa de planificación se contempló que los resultados de la visita serían socializados en una reunión entre las partes. Así, no se proyecta informe de la visita al explotador ni se emprende acción de seguimiento de los posibles incumplimientos u oportunidades de mejora

que pudieran ser evidenciados. En contraste, en el marco de una verificación remota por parte del Órgano Regulador, sí reviste importancia generar un informe incluyendo las conclusiones y los requerimientos derivados de la visita.

2.3. Propuesta para verificaciones remotas de índole regulatorio

Considerando las etapas propuestas para el estudio de caso, se hizo una adaptación al flujo del proceso de las inspecciones regulatorias, en el cual se incorporen las verificaciones remotas, como las reuniones previas para delimitar el alcance en conjunto con la entidad. En la figura 2 se sugiere el procedimiento a seguir ante el escenario hipotético de una inspección regulatoria que contemple verificaciones remotas. Los cuadros resaltados en rojo señalan los pasos que por su naturaleza no se pueden ejecutar remotamente y que tuvieron que ser adaptados, lo cual se indica con las líneas discontinuas entre los recuadros.

2.4. Instalación piloto

Como instalación piloto para el estudio participó la Refinería de Cartagena S. A. S., junto con su operador y la empresa contratista para los servicios relacionados con el monitoreo y mantenimiento de los medidores nucleares. La Refinería de Cartagena es un complejo industrial y de refinación compuesto por 34 unidades distribuidas en un área de 140 hectáreas, cuyo operador es Ecopetrol S. A. Se encuentra autorizada, bajo la modalidad de Licencia de Operación n.º LO-0001 [17], para el uso de medidores nucleares en el territorio colombiano, y es hoy la instalación radiactiva con mayor cantidad de fuentes en esta práctica. Los medidores nucleares son indispensables para el control de procesos en las refinerías, en la instalación piloto se utilizan como interruptores de nivel, medición continua de nivel o densidad, y medición continua de nivel e interfase; para lo cual dentro de su inventario tiene una fuente sellada de ^{60}Co con una actividad inicial de 7.40 GBq y 62 fuentes de ^{137}Cs con actividades iniciales distribuidas en el rango 111 MBq a 185 GBq. Las fuentes radiactivas se ubican en cuatro unidades de proceso denominadas por la entidad como 002, 044, 100 y 111. En la figura 3 se observa el equipo D-16 de la unidad 044, en el cual se encuentran instalados tres medidores nucleares de tipo interruptor de nivel, junto con los puntos de monitoreo establecidos en el programa de protección radiológica.

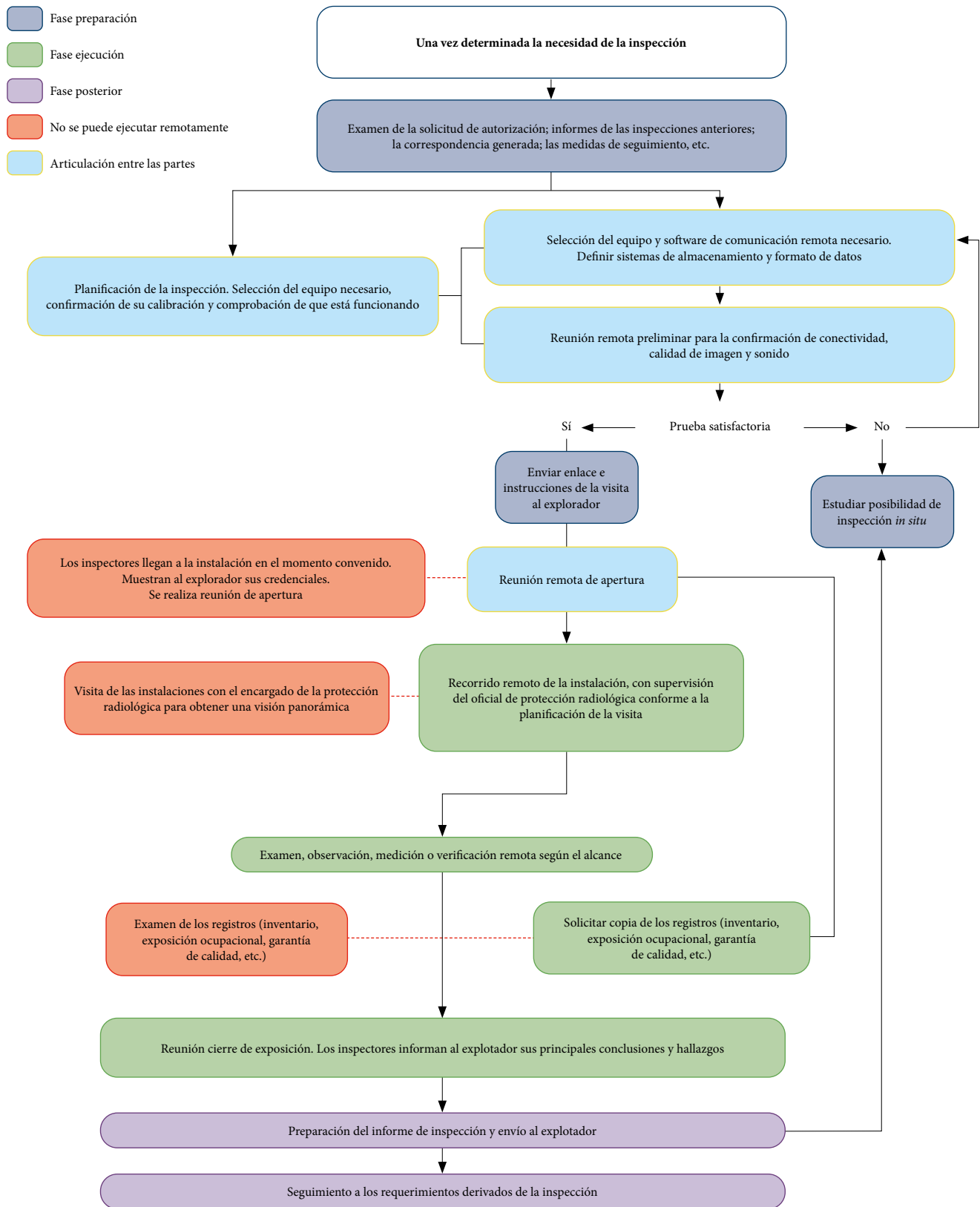


Figura 2. Propuesta de flujo de inspecciones regulatorias contemplando verificaciones remotas [18]

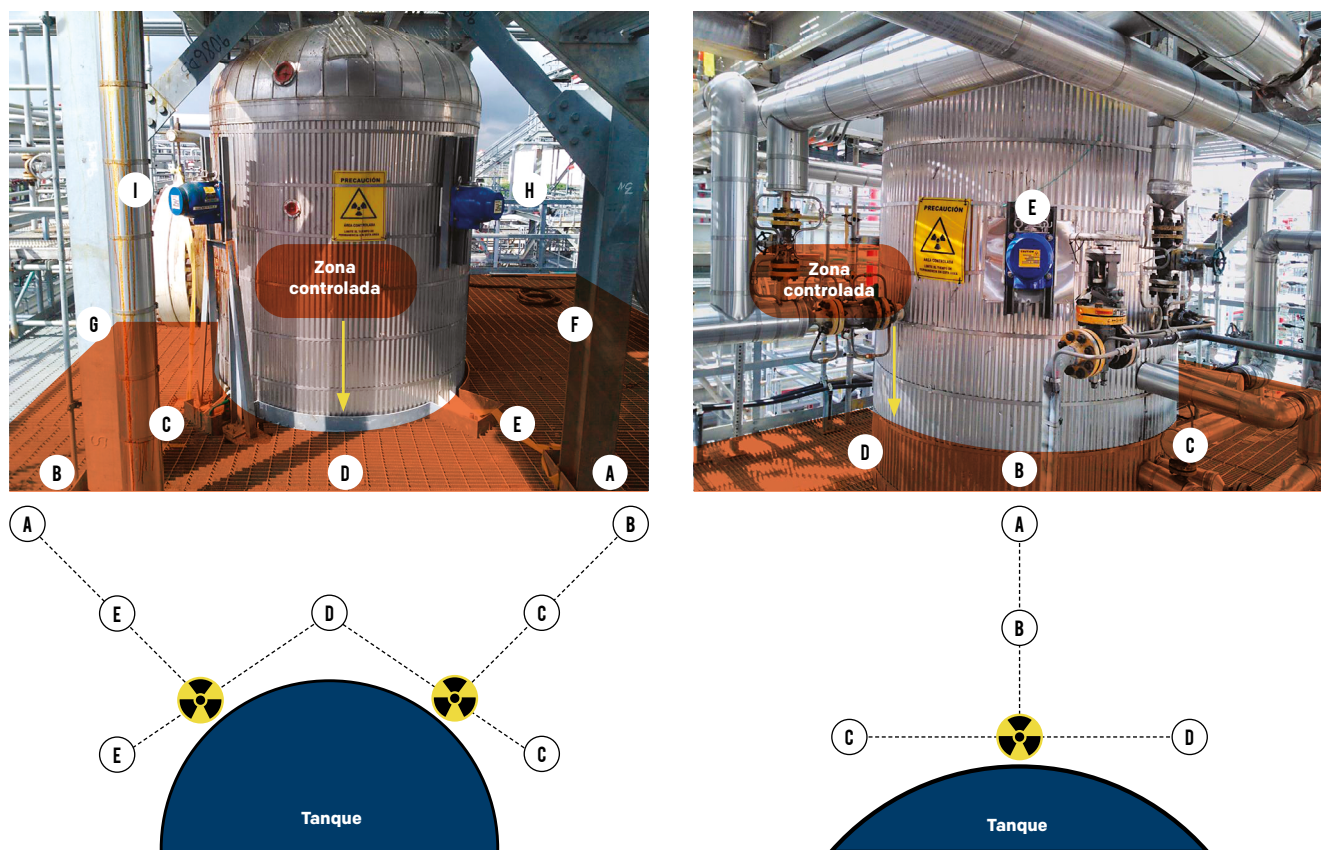


Figura 3. Medidores nucleares en el equipo D-16 de la unidad 044 incluyendo puntos de monitoreo radiológico

El organigrama de la instalación se corresponde con el representante legal como máximo responsable del manejo de las fuentes y titular de la autorización; responsable u oficial de protección radiológica, tanto por la refinería como por el operador; un líder de protección radiológica, y varios auxiliares. Cabe mencionar que las actividades rutinarias de mantenimiento y vigilancia radiológica de las zonas son suplidas por el contratista Continental Process Instruments S. A. S., quien cuenta con autorización para tal fin.

3. Resultados y discusión

3.1. Plan de visita

La planificación de la visita remota, conforme a la metodología propuesta, contempló la consolidación de mesas de trabajo en las cuales se expuso el objetivo del estudio, se delimitó el alcance de las verificaciones a realizar y se expusieron las consideraciones de seguridad y de operación de la entidad que podrían llegar a comprometer la realización de

la visita. Algunos de los aspectos previstos en la planificación de la visita se muestran en la tabla 2.

Además, en la tabla 3 se detalla el cronograma previsto para el recorrido, en el cual se tienen en cuenta las características de los medidores, los tiempos de permanencia según las restricciones en las unidades de proceso, los tiempos de movilización entre unidades, entre otros aspectos.

3.2. Cumplimiento del cronograma

El 13 de noviembre de 2020 se realizó reunión preparatoria en la cual se discutió la planificación de la visita y se verificó la conectividad a través de la herramienta escogida. La visita remota se programó inicialmente para el 19 de noviembre de 2020. El 18 del mismo mes la entidad explotadora reportó la suspensión operativa de manera preventiva de algunas unidades de producción. Debido a que el 19 de noviembre de 2020 estas unidades de proceso se encontraban en condición de arranque, situación crítica de proceso, no se autorizaron actividades no esenciales y por tanto se suspendió temporalmente

Tabla 2. Plan de visita

Aspecto previsto	Detalle
Suministro de información previa por parte de la instalación piloto.	<ol style="list-style-type: none"> Copia de las autorizaciones para empleo de material radiactivo: <ul style="list-style-type: none"> LO-001 a nombre de Refinería de Cartagena S. A. S. LO-002 a nombre de Continental Process Instruments S. A. S. Copia de la documentación asociada a la autorización: <ul style="list-style-type: none"> Memoria descriptiva de la instalación. Manual de protección radiológica. Manual de procedimientos. Nota: se incluyeron los formatos asociados. Copia de registros de vigilancia radiológica de las zonas (desde 2018 hasta la fecha del estudio). Certificados de calibración de dosímetros e intensímetros. Soportes de inscripción al servicio de dosimetría personal.
Participantes de la instalación piloto	<p><i>En campo:</i> dos (2) trabajadores ocupacionalmente expuestos de la empresa contratista. Con antelación a la actividad, se corroboró que los participantes en campo estuviesen vinculados a las autorizaciones correspondientes e inscritos al servicio de dosimetría personal de lectura diferida. Los registros realizados por los trabajadores en campo serán en los formatos autorizados dentro del programa de protección radiológica.</p> <p><i>En conexión remota:</i> oficiales de protección radiológica de la Refinería y del operador. Su participación estuvo restringida a esta modalidad, teniendo en cuenta que las medidas adoptadas en la entidad para la prevención y contingencia del covid-19. Además, se definió dentro del personal administrativo el rol de moderador.</p>
Participantes del grupo verificador	<p><i>En conexión remota:</i> cuatro (4) profesionales de la línea de investigación de Seguridad Radiológica del Grupo Asuntos Nucleares, quienes cuentan con experiencia en auditorías e inspecciones a instalaciones radiactivas. Se definió el líder de la visita, quien además asumió el rol de moderador de parte del grupo verificador.</p>
Herramienta para la transmisión de información	<p>Las reuniones fueron convocadas a través de la herramienta Microsoft Teams™. Se contempló la grabación de la sesión y la captura de imágenes a disposición de ambas partes. Como medio alternativo de comunicación, se acordó contacto telefónico entre los operadores en campo y el moderador de la instalación, así como entre el moderador de la instalación y el moderador del grupo a cargo de las verificaciones. Las imágenes transmitidas están limitadas a las áreas de interés relacionadas con las fuentes radiactivas, no se permitieron tomas abiertas o panorámicas de las unidades por consideraciones de seguridad física.</p>
Equipos de protección radiológica	<ul style="list-style-type: none"> Intensímetro, marca MIRION TECHNOLOGIES (RADOS)™, modelo RDS-30, serial 340365, última calibración 7-ago-2020. Intensímetro, marca MIRION TECHNOLOGIES (RADOS)™, modelo RDS-30, serial 300170, última calibración 7-ago-2020. Dosímetro de lectura directa, marca TRACERCO™, modelo T404-A-2, serial 1840449, última calibración 18-mar-2020. Dosímetro de lectura directa, marca TRACERCO™, modelo T404-A-2, serial 1444609, última calibración 18-mar-2020.
Otros equipos	<p>Se garantizó un teléfono móvil intrínsecamente seguro a través del cual el personal en campo se conectó a la reunión y transmitió la información en vivo. Además, se contempló la disponibilidad de una cámara adicional para, de ser necesario, captar información por otro medio debido a fallas en la conectividad.</p>
Fuentes radiactivas	<p>La programación contempló un recorrido por tres de las cuatro unidades de proceso. Se abarcó la verificación del 85,7% del inventario total de fuentes; sin embargo, solo es posible corroborar el serial del 44% de estas, teniendo en cuenta que varias de las fuentes son de inserción.</p>

Tabla 3. Cronograma previsto para el recorrido

Hora de ingreso	Unidad	Equipos	Cantidad de fuentes	Actividad total (GBq)	Consideraciones especiales
8:30	044	D-12 D-13 D-16 D-18	6, ¹³⁷ Cs	38,05 (≈2014)	Permanencia restringida en la unidad, superados los 35 minutos se debe suspender la actividad. El ingreso toma 30 minutos aproximadamente. Una vez se finalice la actividad, se requiere un tiempo para la neutralización del traje de protección, el acondicionamiento e hidratación del personal.
10:00	111	D-201A D-201B D-201C D-201D	12, ¹³⁷ Cs	2220 (≈2014)	Cada uno de los equipos tiene tres medidores instalados en distintos niveles, por lo cual se hará la verificación por cada nivel. Inspeccionar cada fuente requiere movilizar una escalera para poder acceder a la placa de la fuente. La actividad se realizará máximo hasta las 11:45 a. m., debido a las disposiciones internas de jornada laboral.
1:15	002	D-2550 D-2552 D-2553	8, ¹³⁷ Cs	172,05 (≈2015)	Una de las fuentes es inaccesible.
3:30	100	T-006	2, ¹³⁷ Cs	172,05 (≈2014)	Esta unidad solamente tiene dos fuentes de fácil acceso.
4:30	044	D-04 D-30 D-23 D-101	28, ¹³⁷ Cs 1, ⁶⁰ Co	350,62 (≈2014) 7,4 (≈2014)	En la unidad D-04 se encuentra un arreglo de fuentes y detectores de inserción; por tanto, solo se podrá apreciar el obturador del sistema. En la unidad D-30 se tiene un arreglo de fuentes de inserción y detectores externos; así, podrá verificar solo el obturador del sistema y los detectores ubicados a lo largo del tanque. Además, tiene una fuente asociada a un interruptor de nivel que es accesible y verificable. En el equipo D-101 se tienen instalados dos medidores nucleares que son accesibles; sin embargo, cuentan con un blindaje adicional con mantas de plomo que no podrá ser desmontado durante la verificación. En consecuencia, no se podrá acceder a su placa.

la visita remota. Después se reprogramó la visita para el 30 de noviembre de 2020.

El 27 de noviembre de 2020 se hizo otra prueba piloto para verificar la conectividad en la unidad 111. Se examinó la señalización de zonas, plaquetas de identificación de las fuentes radiactivas, funcionalidad de los equipos de protección radiológica y medidas asociadas. Si bien, se encontraron algunas intermitencias en la comunicación, se consideró que la transmisión fue aceptable para llevar a cabo la visita. También se identificaron zonas en las que la intensidad del ruido podría presentar problemas en la comunicación, ante

lo cual se acordó utilizar el chat de la plataforma. Por el nivel de polución, debido a la cercanía a la planta coque, la información contenida en algunas plaquetas no pudo ser corroborada a través del video; en consecuencia, es prerequisite realizar mantenimiento preventivo y limpieza de las plaquetas previamente a este tipo de verificaciones.

La visita remota se efectuó el 30 de noviembre de 2020, de acuerdo con la reprogramación por los motivos antes expuestos. Inició con la reunión de apertura, se presentaron los asistentes de ambas partes, se constató que estuviera presente el personal mínimo necesario y se ratificó el plan de visita. La



(a) Verificación alarma dosímetro de lectura directa



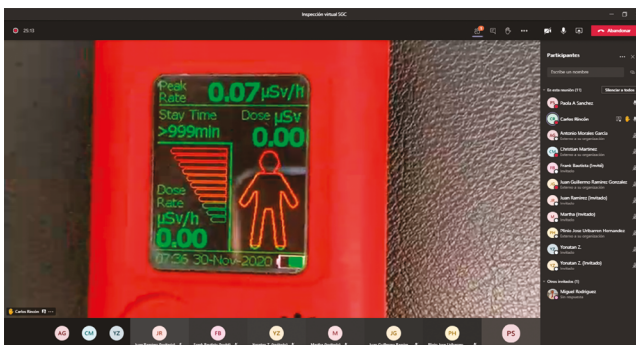
(d) Verificación dosímetro de lectura diferida



(b) Identificación del dosímetro de lectura directa



(e) Identificación del intensímetro



(c) Verificación funcional dosímetro de lectura directa



(f) Medición de nivel de referencia de la radiación de fondo natural

Figura 4. Verificación de los equipos detectores de radiación y dosímetros

primera verificación, previa a la movilización del personal a las unidades de proceso, fue a los equipos necesarios para el monitoreo radiológico de las zonas y para la vigilancia radiológica individual del personal encargado de las mediciones. En la figura 4 se muestran algunas capturas de pantalla en las cuales se puede apreciar la identificación de los equipos (marca, modelo, serie), la configuración de alarmas, la dosis reportada al inicio de lectura –en el caso de los dosímetros de lectura directa– y el nivel de radiación de fondo medido.

Luego, se procedió con el recorrido de la instalación según el cronograma propuesto. En la figura 5 se ilustra la duración real de la visita remota en comparación con la programada, la cual se vio afectada por varias situaciones.

Se señala que la ejecución se desvió del cronograma, debido en particular a las siguientes situaciones: retraso en el inicio de las verificaciones, duración menor a la prevista inicialmente y unidades no verificadas. Estas se presentaron debido a:

- » Justo antes de ingresar a las unidades se debe tramitar el permiso de acceso. Durante la visita se suspendió la operación de algunas unidades de proceso y en consecuencia se retrasó o negó el permiso para que pudiera acceder el personal encargado de las verificaciones en campo. Cabe mencionar que la condición de arranque, para retomar la operación de una unidad de proceso, está catalogada en la entidad como una condición crítica; por tal razón, los responsables de las unidades de proceso pueden suspender otras actividades que no se consideran esenciales en dicho momento.

- » Debido a los retrasos, y considerando que se deben cumplir algunos tiempos relacionados con políticas internas y el protocolo de bioseguridad de la entidad explotadora, como lo es receso de almuerzo y el tiempo de permanencia en la unidad 044, fue necesario acortar el tiempo de las verificaciones y se optó por revisar aleatoriamente algunas fuentes.
- » En horas de la tarde se suspendieron las actividades en campo en la Refinería de Cartagena S. A. S., debido a precipitaciones. Por tal razón, cerca de las 15:00 horas se decidió finalizar el recorrido por las unidades y se realizó la reunión de cierre. En consecuencia, no fue posible verificar las fuentes de la unidad 100 ni las fuentes de la unidad 044 (D-04, D-30, D-23 y D-101) contempladas para la jornada de la tarde.

3.3. Comprobación del inventario de material radiactivo

El plan de visita contempló verificaciones en varias unidades de proceso donde se aloja el 85,7 % del inventario de fuentes radiactivas de la entidad explotadora; sin embargo, se omitieron las fuentes de inserción en las cuales no es posible la verificación de la plaqueta e identificación, abarcando el 44,4 % de las fuentes. Dadas las situaciones externas que afectaron el cumplimiento del cronograma previsto, fue posible verificar los datos de identificación del 17,5 % de las fuentes. En la figura 6 quedó registrada la dificultad para apreciar el serial por fallas en la conectividad, situación que se presentó para la fuente con serial 2641CP.

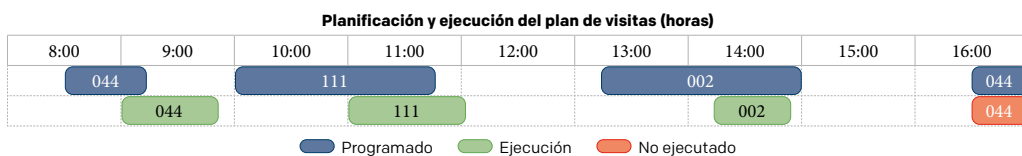


Figura 5. Seguimiento al cronograma

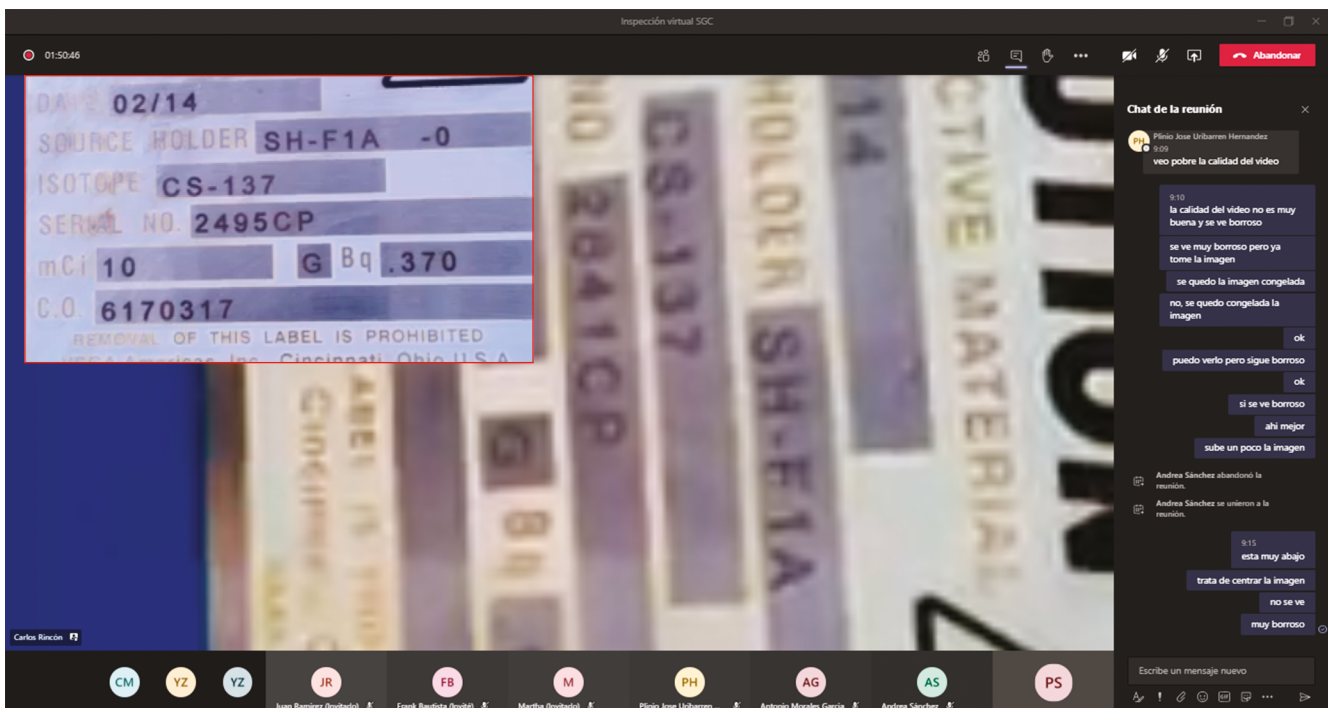


Figura 6. Verificación de la plaqueta en equipo D13

Nota: en los mensajes del chat quedó el registro de las dificultades para captar el serial de la fuente por fallas en la conexión; sin embargo, se logró tomar una imagen de buena calidad.

3.4. Mediciones de los niveles de radiación

Se realizó la medición de los niveles de radiación en los puntos establecidos en el Manual de Protección Radiológica de la entidad, lo anterior se puede observar en las figuras 7 y 8. Se pudo evidenciar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos de mediciones anteriores y por debajo de los niveles de investigación. Se verificó que los trabajadores realizaron adecuadamente el registro de las medidas en los formatos establecidos por la entidad.

En la figura 9 se ilustran las mediciones realizadas por la entidad en el transcurso de 2020, junto con la medición realizada en la visita remota (último punto de la gráfica), para el primer nivel de la planta de coque.

3.5. Observación del uso de los medidores y entrevistas asociadas

Durante el recorrido se apreció que los medidores nucleares se encuentran en funcionamiento y en la ubicación de acuerdo con lo previsto en la Memoria Descriptiva de la instalación y según lo indicado por el operador. No hubo disponibilidad de herramientas tecnológicas para la georreferenciación. Por otra parte, el personal respondió acertadamente

a las preguntas planteadas durante el recorrido y denotó conocimiento del funcionamiento de los medidores nucleares.

3.6. Comprobación de las disposiciones de protección radiológica

Se evidenció que los medidores se encontraban anclados y direccionados de forma adecuada. Los medidores nucleares funcionan de manera continua, por ser utilizados para el control de procesos en la Refinería, y el mantenimiento de los obturadores coincide con las paradas de planta programadas. No se tiene instalados dispositivos o barreras adicionales a las previstas en el diseño de los medidores para impedir la exposición inadvertida al haz directo de la fuente por una acción indebida de algún trabajador; frente a esta situación de exposición potencial se argumenta que es controlada por las mismas especificaciones de diseño y de instalación fija de los medidores sobre los tanques de proceso, además mediante los procedimientos de control de acceso, supervisión permanente de los trabajadores miembros del público que acceden a la zona controlada para realizar intervenciones en otros equipos y capacitaciones dirigidas a todo el personal operativo en la entidad. Se pudo apreciar que los

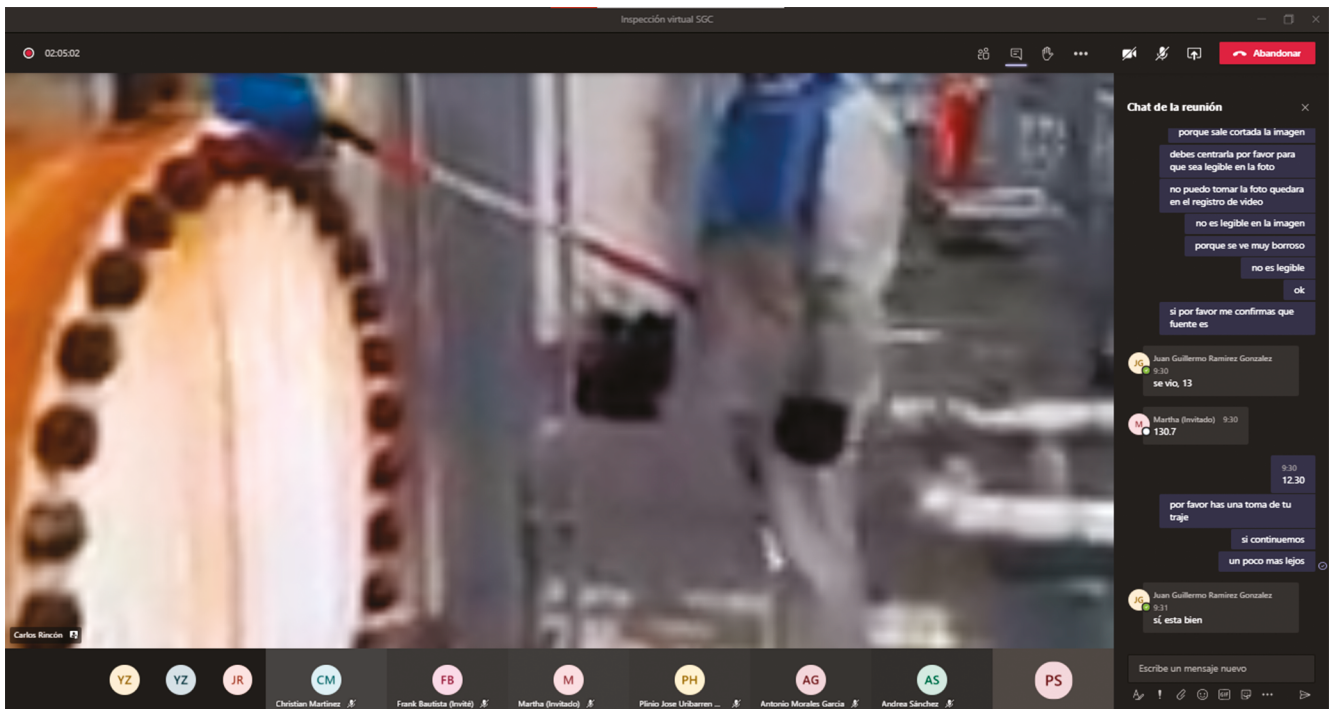


Figura 7. Monitoreo radiológico en unidad 044

Nota: medición de niveles de radiación en contacto con el medidor nuclear. Por las condiciones ambientales asociadas a riesgos no radiológicos, en la unidad se requiere uso de traje de protección y se tiene tiempo de permanencia restringido.

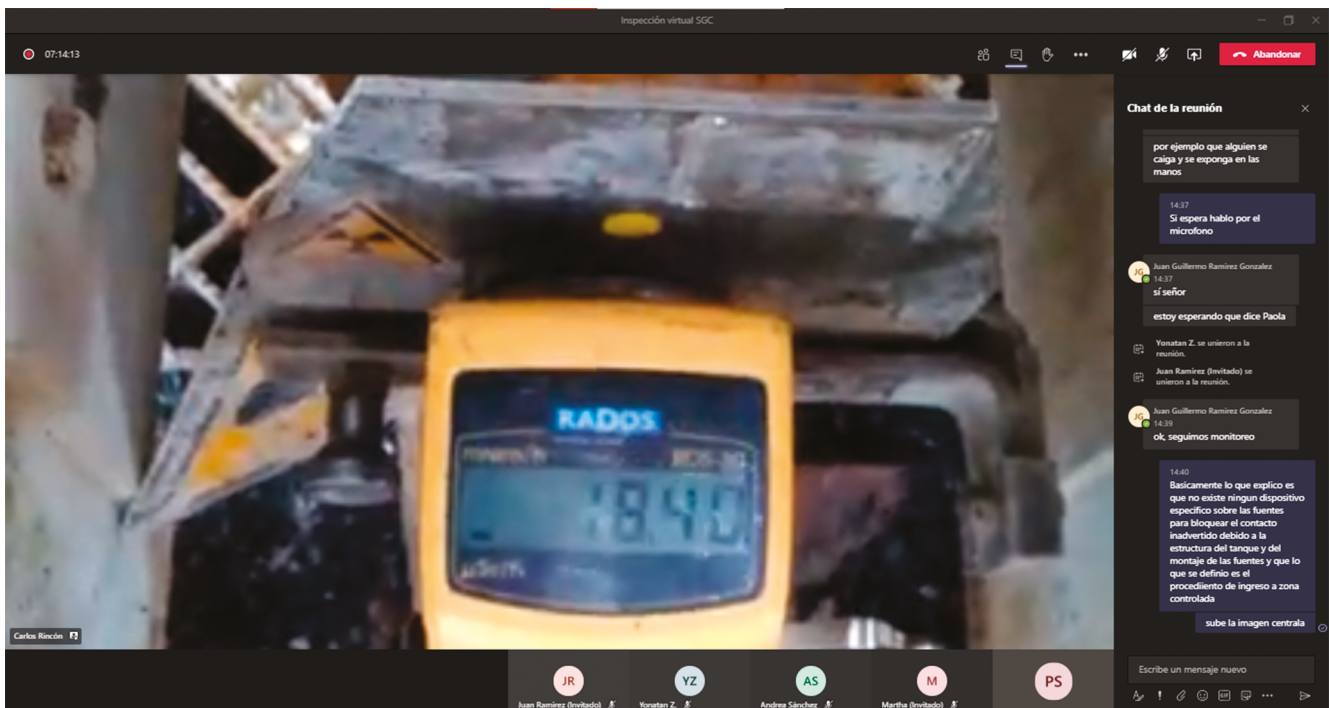


Figura 8. Monitoreo radiológico sobre la superficie del medidor

Nota: medición en contacto con el medidor nuclear. En el chat se alcanza a leer una de las respuestas dadas por el operador en campo según la entrevista planteada por el equipo verificador.

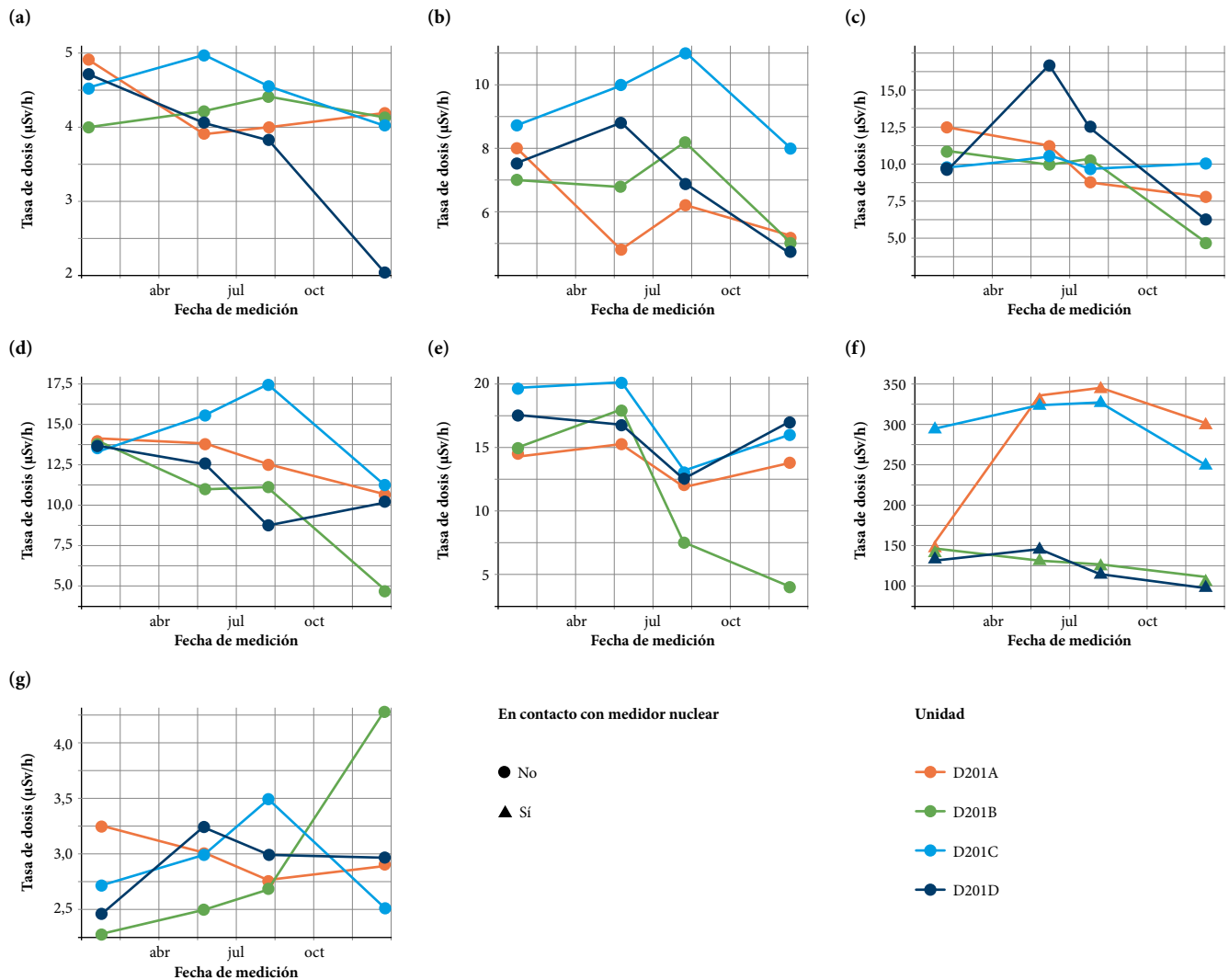


Figura 9. Monitoreo radiológico en el primer nivel de la planta de coque

Nota: reporte de las mediciones de 2020 adelantadas por la entidad en el primer nivel de la planta de coque. El último punto de cada serie de tiempo corresponde al valor medido durante las verificaciones remotas.

controles de acceso, la demarcación y señalización de zonas clasificadas están conforme a lo indicado en los documentos que soportan la autorización (figuras 10 y 11). Además, en la unidad 044 D12, se verificó la disponibilidad y eficacia de blindajes adicionales o cortinas de plomo, los cuales, según la medición, representan una reducción de la tasa de dosis en contacto del 93 %.

3.7. Disponibilidad y funcionamiento de los equipos de protección radiológica

Se evidenció la disponibilidad y funcionamiento de los equipos según lo establecido en el plan de visita. Por otra parte, la entidad informó que cuenta con fuentes de calibración (exentas de regulación) con las cuales verifican la funcionalidad de los equipos. El equipo verificador recomendó la implementación de un procedimiento de comprobación funcional de los equipos y generación de las cartas de control correspondientes. Una vez finalizada la visita, se remitió registro de las dosis recibidas por el personal durante el recorrido, cuyos valores no superaron los $5 \mu\text{Sv}$ para cada uno de los operadores.

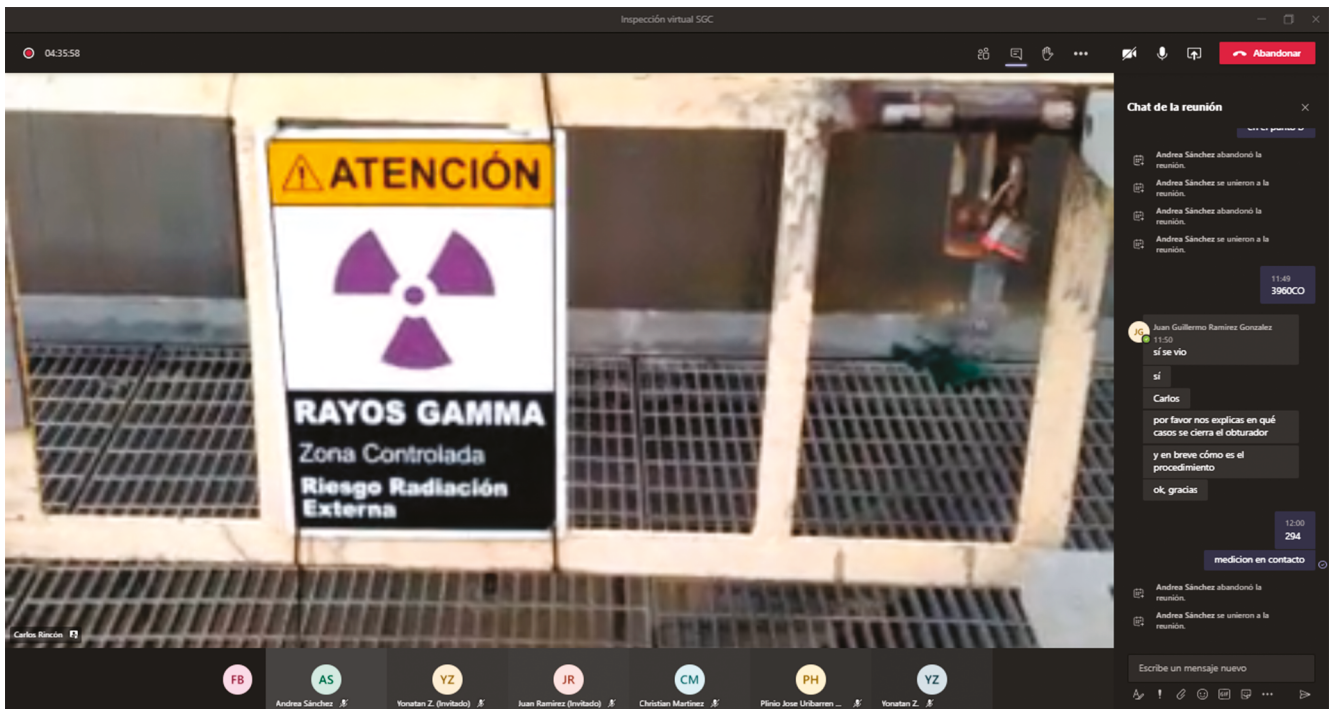


Figura 10. Verificación de la señalización y controles de zonas clasificadas
Nota: en el chat se evidencian las dificultades presentadas con respecto al sonido.

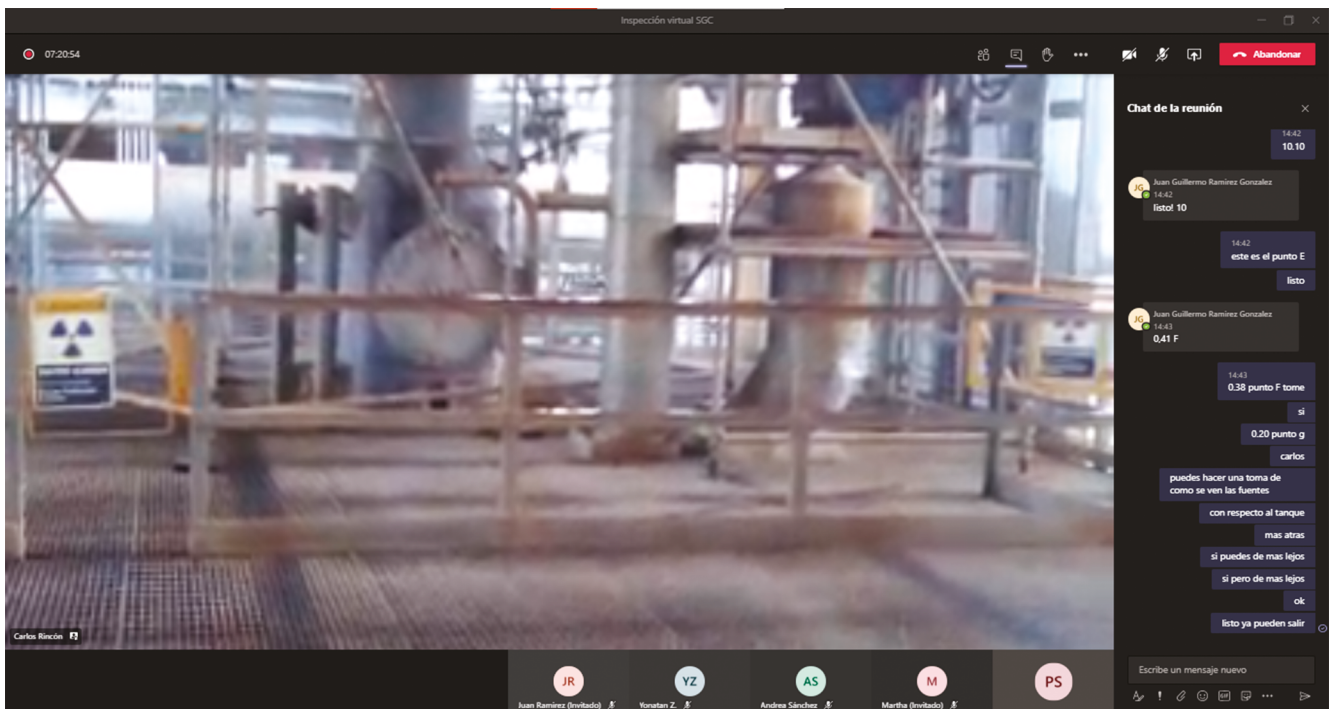


Figura 11. Verificación de delimitación, señalización y controles de acceso a zonas clasificadas

4. Conclusiones

Las verificaciones remotas en las instalaciones radiactivas pueden ser una alternativa de control regulatorio para la situación actual de pandemia y en el futuro, dado que, al ser efectuadas de manera preliminar a las inspecciones de control, constituyen una herramienta para evaluar la pertinencia de adelantar una visita *in situ*, definir su alcance o, en su defecto, justificar su prórroga. En comparación con las inspecciones de control convencionales, en las verificaciones remotas se reducen los desplazamientos del personal al lugar de la inspección (tanto del Órgano Regulador como de las entidades explotadoras), lo que facilita el cumplimiento de la medida de aislamiento adoptada para evitar o minimizar la transmisión del covid-19, y además disminuye la exposición a las radiaciones ionizantes u otros riesgos existentes en las instalaciones radiactivas.

Las visitas remotas podrían resultar menos costosas que una visita *in situ* por no incurrir en gastos de desplazamiento. Su implementación como alternativa a las inspecciones de control en Colombia disminuiría gastos en las entidades explotadoras, puesto que las tarifas de inspecciones de control regulatorio son significativamente mayores cuando la instalación radiactiva se encuentra fuera del perímetro urbano de Bogotá [23]. También, viabilizan que tanto personal del Órgano Regulador como de la entidad explotadora pueda participar de manera remota o presencial, lo cual facilita el cumplimiento de las medidas adoptadas para personas con mayor riesgo al covid-19. Además, se puede permitir la participación como observadores de personal en entrenamiento, administrativo o trabajadores no considerados *ocupacionalmente expuestos*, para quienes la instrucción en protección y seguridad en las instalaciones radiactivas resulte beneficiosa.

Adicionalmente, el material fotográfico y fílmico obtenido durante las verificaciones remotas permite consolidar evidencias de control regulatorio, soportes para la toma de decisiones y auditoría al proceso de inspección, así como material para la divulgación y apropiación del conocimiento, el entrenamiento y el fomento de la cultura de la seguridad.

Los beneficios de las verificaciones remotas se pueden ver limitados por las exigencias en cuanto a recursos tecnológicos para las entidades explotadoras y el Órgano Regulador,

ya que es posible que estas no se puedan realizar o sean suspendidas por fallas en la conectividad, baja resolución en la información transmitida o insuficiencia tecnológica. Además, la dependencia de la disponibilidad y correcto funcionamiento de los equipos de protección radiológica, así como la necesidad de articular entre las partes la planificación de la visita, puede conducir a pérdidas de independencia del Órgano Regulador y de oportunidad para verificar una instalación en condiciones de trabajo normales, como fuese mediante una inspección no anunciada [20]. Para futuros estudios, o durante la realización de verificaciones remotas por parte del Órgano Regulador, resulta pertinente incluir equipos de georreferenciación que permitan verificar con mayor certeza la ubicación de las fuentes radiactivas.

Este estudio demostró que es posible corroborar, de manera remota, el inventario de material radiactivo, medir los niveles de radiación, observar la operatividad de los equipos que contienen fuentes radiactivas, realizar entrevistas al personal ocupacionalmente expuesto, verificar la disponibilidad y funcionamiento de equipos de protección radiológica y comprobar disposiciones de protección y seguridad. Como se mencionó, estas verificaciones implican que se garantice la conectividad, buena transmisión de la información, limpieza y mantenimiento de la plaqueta de las fuentes e, indudablemente, la confianza entre las partes al intercambiar información necesaria en la planificación y ejecución de la visita. Se sugieren estudios adicionales para evaluar la viabilidad de verificaciones remotas en instalaciones que realicen otras prácticas, así como evaluar las disposiciones de seguridad física.

Agradecimientos

Los autores agradecen de manera especial a la Refinería de Cartagena S. A. S., Ecopetrol S. A. y Continental Process Instruments S. A. S., por facilitar la realización de este estudio. Un reconocimiento a Martha Y. Guzmán, Guillermo A. Parrado y Frank J. Bautista, integrantes de la línea de investigación de Seguridad Radiológica, por sus contribuciones. Agradecen la viabilidad dada por la Dirección Técnica de Asuntos Nucleares del Servicio Geológico Colombiano, en cabeza del doctor Hernán Olaya, a los anónimos evaluadores pares y al equipo editorial de la *Revista Investigaciones y Asuntos Nucleares*.

Referencias

- [1] J. A. Lewnard y N. C. Lo, “Scientific and ethical basis for social-distancing interventions against COVID-19”, *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 20, n.º 6, pp. 631-633, 2020. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30190-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30190-0)
- [2] Sumedha Gupta *et al.*, “Tracking Public and Private Responses to the COVID-19 Epidemic: Evidence from State and Local Government Actions”, *National Bureau of Economic Research*, n.º 10, 2020. <https://doi.org/10.3386/w27027>
- [3] M. Nicola *et al.*, “The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review”, *International Journal of Surgery*, vol. 78, pp. 185-193, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018>
- [4] E. L. Yeyati y R. Valdés, “COVID-19 en Latinoamérica: diferencias respecto a las economías desarrolladas”, *International Development Policy | Revue internationale de politique de développement [Online]*, n.º 12.2, 2020. <https://doi.org/10.4000/poldev.3532>
- [5] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), “Impact of COVID-19 Pandemic on the Regulatory Activities for the Safety of Radiation Sources. Survey Analysis”, *Division of Radiation, Transport and Waste Safety*, 2020.
- [6] A. Sánchez-Galindo, J. G. Ramírez y G. A. Parrado, “Percepciones del impacto de la pandemia de COVID-19 en las instalaciones radiactivas de Colombia”, *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, n.º 4, pp. 73-82, 2020. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.4.2020.542>
- [7] International Atomic Energy Agency (IAEA), “Safeguards implementation during the COVID-19 Pandemic”, *Board of Governors*, n.º GOV/INF/2020/7, 2020.
- [8] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), “Funcionamiento, seguridad tecnológica y seguridad física de las instalaciones y actividades nucleares o radiológicas durante la pandemia de covid-19”, *Junta de Gobernadores*, n.º GOV/INF/2020/8, 2020.
- [9] D. Booth, “Building Capacity by Piloting Virtual Inspections”, *Journal of Environmental Health*, vol. 83, n.º 2, pp. 34-35, 2020.
- [10] J. E. Cruz, “La auditoría en entorno COVID-19. Uso de tecnología y enfoque de riesgos”, *Podium*, vol. 38, pp. 67-86, 2020. <https://doi.org/10.31095/podium.2020.38.5>
- [11] R. Litzenberg y C. F. Ramírez, “Auditoría remota para covid-19 y demás. Implicaciones a corto y largo plazo”, *The Institute of Internal Auditors, Inc. Environmental Health & Safety*, 2020.
- [12] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), “Actividades del OIEA relacionadas con las instalaciones y actividades nucleares y radiológicas durante la pandemia de covid-19”, *Conferencia General*, n.º GC(64)/INF/6, pp. 1-56, 2020.
- [13] Presidencia de la República de Colombia, “Decreto 457 del 22 de marzo de 2020, por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del Coronavirus covid-19 y el mantenimiento del orden público”, *Diario Oficial*, n.º 51264, 22 de marzo, Colombia, 2020.
- [14] Ministerio de Salud y Protección Social, “Circular Externa 100-009 del 7 de mayo 2020”, Colombia, 2020.
- [15] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 90698 de 2014, por medio de la cual se delegan unas funciones al Servicio Geológico Colombiano”, *Diario Oficial*, n.º 49202, 4 de julio, 2014.
- [16] Coordinación de Licenciamiento y Control. Servicio Geológico Colombiano (*comunicación privada*). 2020.
- [17] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 90874 de 2014, por medio de la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la expedición de autorizaciones para el empleo de fuentes radiactivas y de las inspecciones de las instalaciones radiactivas”, *Diario Oficial*, n.º 49241, 12 de agosto, Colombia, 2014.
- [18] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad. Requisitos de Seguridad Generales n.º GSR-Parte 1 (rev.1)*. Viena, 2017.
- [19] Organismo Internacional de Energía Atómica, *Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva. IAEA-TECDOC-1526*, Viena, 2010.
- [20] International Atomic Energy Agency (IAEA), *Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety. General Safety Guide n.º GSG-13*, Viena, 2018.
- [21] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 18 1434 de diciembre 5 de 2002, por la cual se adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica”, *Diario Oficial*, n.º 45027, 10 de diciembre, Colombia, 2002.

[22] International Atomic Energy Agency (IAEA), *Radiation Safety in the Use of Nuclear Gauges, Specific Safety Guide* No. SSG-58, Viena, 2020.

[23] Servicio Geológico Colombiano, “Resolución n.º D-083 del 13 de febrero de 2015, por medio de la cual se fijan las tarifas a cobrar por los servicios de autorización y control

para la gestión segura de materiales nucleares y radiactivos en el país”, [Internet], Colombia, 2015. Disponible en <https://www2.sgc.gov.co/ControlYRendicion/TransparenciasYAccesoAlaInformacion/Documents/Resolucion-No-D-083-de-13-de-Feb-de-2015.pdf>.