



Informe sobre el estado del arte de dispositivos de medida utilizados en las redes de ciencia ciudadana



Análisis de arquitecturas de proyectos similares
Análisis del estado del arte y respuesta de dispositivos de medición
Análisis de los aspectos sociales, económicos y operacionales.

Autores:

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Fundación Ibercivis

Fecha:

17/06/2025



Versiones del documento

v1.0 Compilación parte I y II	15/05/2025 Nacho Sáez (Ibercivis) Claudia Grossi (UPC) Anna Camp (UPC) Arturo Vargas (UPC) Maria Amor Duch (UPC) Berta Alamany (UPC)
v2.0 Compilación parte III y anexos	21/05/2025 Olga Varela (Ibercivis)
v2.1 Revisión - depuración	04/06/2025 Olga Varela (Ibercivis)
v2.2 Versión final	12/06/2025 Francisco Sanz (Ibercivis) Olga Varela (Ibercivis)

Índice

Resumen	6
1. Análisis de la arquitectura de proyectos similares	7
1.1 Introducción	7
1.2 Arquitectura de la Plataforma	7
1.2.1 Dispositivos de medición de radiación gamma de bajo coste	7
1.2.2 Aplicación Móvil	8
1.2.3 Plataforma Centralizada (Backend)	8
1.2.4 Sistema de Gestión de Datos	8
1.2.5 Interfaz Web	8
1.2.6 Seguridad y Privacidad	8
1.3 Funcionalidades Necesarias	8
1.3.1 Recopilación de Datos	8
1.3.2 Procesamiento y Análisis de Datos	8
1.3.3 Visualización de Datos	9
1.3.4 Interacción del Usuario	9
1.3.5 Gestión de Usuarios y Seguridad	9
1.3.6 Escalabilidad y Mantenimiento	9
1.4 Documentación técnica arquitectura proyectos similares	9
1.4.1 Proyecto en estudio: Safecast	10



1.4.2 Proyecto en estudio: Open Radiation	13
1.4.3 Proyecto en estudio: CzechRad	15
1.4.5 Proyecto en estudio: Gammasense	17
1.4.6 Proyecto en estudio: Saveecobot	17
2. Estado del arte en dispositivos de medida de la radiación y respuesta de los detectores de radiación gamma a utilizar en el proyecto	20
2.1 Glosario y Nomenclatura	20
2.2 Introducción	20
2.3 Metodología	23
2.3.1 Selección de los detectores	23
2.3.2 Fases Experimentales y Laboratorios del INTE-UPC	26
2.3.2.1 Fase 1: Linealidad y Reproducibilidad	28
2.3.2.2 Fase 2: Respuesta Angular	29
2.3.2.3 Fase 3: Respuesta Energética	30
2.3.2.4 Fase 4: Influencia de la Temperatura	31
2.3.2.5 Fase 5: Medida de Radiación Cósmica	31
2.4 Resultados	33
2.4.1 Fase 1: Linealidad y Reproducibilidad	33
2.4.2 Fase 2: Respuesta Angular	34
2.4.3 Fase 3: Respuesta Energética	35
2.4.4 Fase 4: Influencia de la Temperatura	36
2.4.5 Fase 5: Medida de la Radiación Cósmica	37
2.5 Conclusiones	39
3. Análisis de los aspectos sociales y operacionales	40
3.1 Openred y la necesidad de este estudio	40
3.2 Proyectos seleccionados para este estudio	40
3.2.1 Safecast	41
3.2.2 SAIRA	41
3.2.3 Open Radiation	42
3.2.4 SURO	43
3.3 Metodología	43
3.4 Hallazgos y análisis	44
3.4.1 Proceso de incorporación (recruitment/onboarding)	45
3.4.1.1 Motivaciones para vincularse al proyecto	45
3.4.1.2 Barreras para vincularse al proyecto	46
3.4.1.3 Estrategias para disminuir las barreras	48
3.4.1.4 Estrategias para convertir las barreras en motivaciones	49
3.4.1.5 Estrategias para encontrar nuevos participantes	49
3.4.2 Sostenimiento de la participación (engagement)	50
3.4.2.1 Motivaciones para seguir participando	50
3.4.2.2 Barreras para una participación a largo plazo	51
3.4.2.3 Estrategias para disminuir las barreras de participación a largo plazo	52



3.4.2.4 Estrategias para mantener el interés	52
3.4.3 Resultados y cambios promovidos	53
3.4.3.1 En protección radiológica	53
3.4.3.2 Educativos	53
3.4.3.3 Actitudes	54
3.4.3.4 Valores	54
3.5 Predominancia de las subcategorías en los proyectos analizados	54
3.6 Análisis cuantitativo: informe de resultados y reflexión	56
3.6.1 Contexto y limitaciones	56
3.6.2 Resultados Obtenidos	56
3.6.3 Lecciones Aprendidas y Valor Añadido	56
3.6.3.1 Pilotaje exitoso	56
3.6.3.2 Claves para futuras implementaciones	57
3.6.3.3 Valor de los resultados para Openred	57
3.6.4 Recomendaciones Estratégicas	57
3.7 Conclusiones generales: lecciones aprendidas	58
4. Referencias	60
5. Anexos	61
5.1 Anexo I	61
5.2 Anexo II: Guía de la entrevista	61
5.3 Anexo III: Encuesta	63



Resumen

En el presente informe se recogen los resultados de las tareas realizadas en el marco de la Actividad 2 denominada: *Estudio de viabilidad*. Las tareas asociadas a esta actividad se desarrollaron durante los primeros meses del proyecto (mes 1: diciembre del 2023, al mes 16: abril del 2025). La Actividad 2 agrupa cuatro tareas:

- Tarea 2.1: Análisis de la arquitectura de proyectos similares
- Tarea 2.2: Análisis del estado del arte en dispositivos de medida de la radiación
- Tarea 2.3: Respuesta de los dispositivos seleccionados ante situaciones reales de medición de radiación gamma ambiental
- Tarea 2.4: Análisis de los aspectos sociales, económicos y operacionales

El objetivo principal de dichas tareas estuvo encaminado a elaborar un estado del arte de proyectos similares a través del análisis de los dispositivos y herramientas disponibles en el momento de la ejecución del proyecto. Este informe recoge los resultados obtenidos en las diferentes tareas tal y como se indica en el convenio del proyecto Openred.

Este informe se agrupa en tres apartados que agrupan los siguientes temas: 1. Análisis de la arquitectura de proyectos similares, 2. Análisis del estado del arte en dispositivos de medida de la radiación y respuesta de los dispositivos seleccionados ante situaciones reales de medición de radiación gamma ambiental; y 3. Análisis de los aspectos sociales, económicos y operacionales. Como puede verse las tareas 2.2 y 2.3 han sido agrupadas en un solo punto para darle fluidez a la lectura de los resultados y evitar redundancias en la información. Cada uno de los apartados ha sido elaborado con el apoyo de diferentes expertos. Especialmente, cabe destacar la especial implicación de la Universidad Politécnica de Cataluña en la realización de la tarea 2.3, desarrollando el análisis de la respuesta de los dispositivos seleccionados para su elección como solución en Openred. También se resalta la asesoría del personal del CISOT en la tarea 2.4, tal y como está contemplado en el convenio.



1. Análisis de la arquitectura de proyectos similares

1.1 Introducción

La creación de una plataforma tecnológica sólida y accesible es un componente fundamental para el éxito de cualquier proyecto de ciencia ciudadana. En el caso del proyecto Openred, orientado a la medición participativa de la radiación gamma ambiental, contar con una arquitectura bien diseñada no solo permitirá la recopilación y gestión eficiente de los datos, sino que también garantizará una experiencia significativa y comprensible para los participantes.

Al tratarse de un proyecto basado en la participación ciudadana, es esencial que las herramientas desarrolladas sean intuitivas, atractivas y estén pensadas para usuarios sin formación técnica especializada. Esto implica ofrecer interfaces amigables, visualizaciones claras de los datos, procesos de interacción sencillos y recursos de apoyo accesibles. De este modo, se promueve la participación activa, el sentido de pertenencia y la continuidad en el uso de la plataforma.

Además, una arquitectura adecuada debe contemplar aspectos clave como la interoperabilidad entre dispositivos, la calidad de los datos recopilados, la seguridad y privacidad de la información, así como la capacidad de escalar el sistema en función del crecimiento del proyecto. Todo ello sin comprometer la transparencia y apertura que caracterizan a los proyectos de ciencia ciudadana.

La presente sección propone un esquema de la arquitectura necesaria para el desarrollo de la plataforma, incluyendo los principales componentes técnicos y las funcionalidades esperadas. Asimismo, se realiza un análisis comparativo de proyectos similares, cuya experiencia acumulada ofrece valiosas lecciones para orientar el diseño y desarrollo de Openred. Proyectos como Safecast, Open Radiation o Gammasense demuestran que, con los elementos adecuados, es posible construir plataformas sólidas que combinan calidad técnica con participación ciudadana significativa.

1.2 Arquitectura de la Plataforma

1.2.1 Dispositivos de medición de radiación gamma de bajo coste

- Equipos portátiles equipados con sensores gamma sensibles y confiables.
- Capacidad de operar de forma autónoma con conectividad a internet (Wi-Fi, Lora o redes móviles).



1.2.2 Aplicación Móvil

- Interfaz para los ciudadanos para registrar datos, visualizar las mediciones en tiempo real y controlar su dispositivo.
- Funcionalidades para geolocalizar automáticamente las mediciones.
- Herramientas para enviar datos automáticamente a la plataforma centralizada.

1.2.3 Plataforma Centralizada (Backend)

- Servidores para almacenar y procesar datos (alojados en la Universidad de Zaragoza).
- Bases de datos SQL para organizar y gestionar los datos de medición y los metadatos asociados.
- APIs para facilitar la interacción entre los dispositivos móviles y la plataforma.

1.2.4 Sistema de Gestión de Datos

- Capacidad para validar, limpiar y organizar los datos entrantes.
- Integración de herramientas de análisis de datos para procesar y generar insights a partir de los datos recopilados.

1.2.5 Interfaz Web

- Dashboard para visualización de datos para usuarios y administradores.
- Herramientas de análisis y reporte para entender las tendencias de radiación.
- Mapas interactivos para visualizar la distribución geográfica de la radiación.

1.2.6 Seguridad y Privacidad

- Implementación de medidas robustas de seguridad para proteger la información sensible y cumplir con RGPD.
- Autenticación y autorización seguras para acceder a la plataforma.

1.3 Funcionalidades Necesarias

1.3.1 Recopilación de Datos

- Captura automática y manual de datos de radiación.
- Sincronización en tiempo real o diferido con la plataforma central.

1.3.2 Procesamiento y Análisis de Datos

- Algoritmos para validar la calidad de los datos.
- Análisis estadístico para identificar patrones o anomalías en los datos de radiación.



- Herramientas de aprendizaje automático para mejorar la precisión de las predicciones y los modelos de datos.

1.3.3 Visualización de Datos

- Gráficos y tablas dinámicas para representar los datos de medición.
- Mapas interactivos que muestren los niveles de radiación por zonas.
- Dashboards personalizables según las necesidades del usuario.

1.3.4 Interacción del Usuario

- Interfaces intuitivas tanto en la aplicación móvil como en la web.
- Funcionalidades de ayuda y soporte técnico accesibles.
- Comunidad en línea para la discusión y el intercambio de ideas entre los participantes.

1.3.5 Gestión de Usuarios y Seguridad

- Registro y gestión de cuentas de usuario.
- Autenticación robusta y gestión de permisos.
- Cumplimiento de las normativas de privacidad y protección de datos.

1.3.6 Escalabilidad y Mantenimiento

- Arquitectura que permita escalabilidad horizontal para manejar aumentos en el volumen de usuarios y datos.
- Herramientas para el monitoreo del rendimiento y la estabilidad del sistema.

1.4 Documentación técnica arquitectura proyectos similares

A partir del análisis previo de los proyectos de características similares cuya arquitectura ya ha sido desarrollada, se estudian las diferentes plataformas cuyo soporte principal es un mapa de radiación gamma ambiental. Se valoró el introducir en el análisis de arquitectura proyectos con un enfoque similar, aunque trataran de datos diferentes al que nos afecta en Openred. Se desestimó por considerar que teníamos suficientes casos para nuestro análisis, pudiendo ampliar en el futuro este a otros estudios como pueden ser mapas de calidad del aire. A continuación se desglosan las principales características de los siguientes proyectos:

- **Safecast:** proyecto internacional que se basa en el trabajo voluntario de científicos ciudadanos para el monitoreo de datos ambientales.
- **OpenRadiation:** el proyecto es una iniciativa de colaboración entre cinco entidades que trabajan en diferentes ámbitos: ANCCLI, IFFO-RME, IRSN, PLANETE SCIENCES y la Universidad de la Sorbona. Este proyecto ciudadano sin ánimo de lucro tiene carácter educativo y pretende aportar conocimiento sobre la radiación ionizante y crear un mapa con distintas mediciones de esta.
- **CzechRad:** proyecto promovido por la agencia checa SURO con dispositivos similares a Safecast.



- **Gammasense:** es una plataforma para la medición de radiación radiactiva. Permite a los ciudadanos medir la radiación gamma con una solución de hardware abierta y visualizar sus mediciones en un mapa interactivo.
- **Savecoboot:** plataforma centralizada en Ucrania que recoge datos de calidad del aire, radiación de fondo, datos legales ambientales + chatbots, mapas y otros

1.4.1 Proyecto en estudio: Safecast

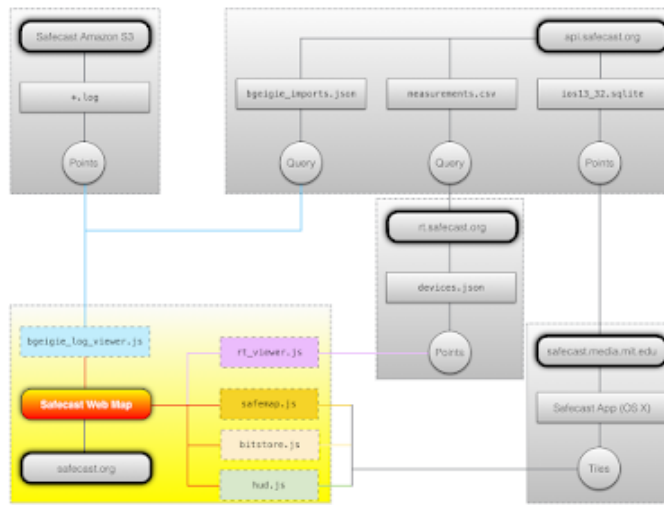
SAFECAST	
Plataforma web:	https://safecast.org/
Datos recopilados:	Radiación Calidad del aire
Dispositivos compatibles:	bgeigie Nano (Safecast DIY) bgeigie Zen (Safecast DIY) bgeigie mini (Safecast DIY) Cualquier dispositivo migrando los datos como bgeigie log file
Mapa web info:	https://map.safecast.org/
APIs Safecast:	https://api.safecast.org/en-US Users Add and view user accounts Measurements Add and view measurements bGeigie Imports Add and view bGeigie Imports Devices Add and view Devices
Github info:	https://github.com/Safecast
Archivo metadatos:	*.log file licencia CCO Opensource \$BNRDD - Usuario 1379 - ID del dispositivo 2023-04-29T08:13:47Z - Fecha en formato iso-8601 39 - Numero de pulsos del contador en el último minuto. 2 – Número de pulsos del contador en los últimos 5s. 143 - total número de pulsos contados. A – Contador ha estado un minuto en marcha y el valor no es cero, sino marca 'V' 3432,1763,N – Latitud ddmm.mmmm y hemisferio 06909.9889,E – Longitud dddmm.mmmm y ubicación este oeste Greenwich 1813,50 – Altitud sobre el nivel del mar en metros A - validación GPS sino 'V'



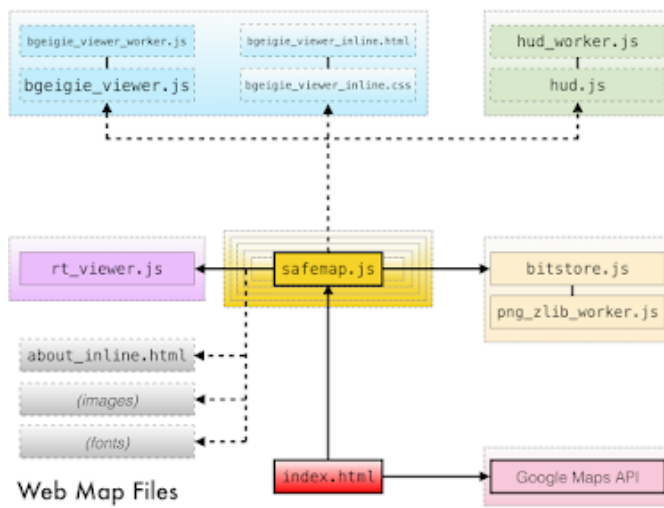
	4 – Número de satélites usados por el GPS.
	175 – precisión relativa de la posición horizontal.
	*48 – Valor suma dato valido
Subida de datos:	Desde API https://api.safecast.org/en-US/bgeigie_imports/new
	manualmente
	mediante archivo log
	time real con API key conectando a través de red wifi.
Descarga de datos:	Se pueden descargar datos completos en formato CSV o acceder a la descarga de los diferentes Logs subidos. También existen filtrados para afinar la búsqueda de los datos de Safecast
Proceso validación:	Uploaded – Archivo log subido a plataforma.
	"Processed – Procesamiento datos en el que se hace conversión de localización, calculo de dosis ... y se realiza filtrado automático."
	Metadata Added – Datos visibles
	Submitted – datos enviados para su validación
	Approved – Datos validados (sino son validados se muestra posibilidad de contacto).
	Live – datos definitivos en plataforma.
Metodología y proceso de tratamiento de datos:	https://map.safecast.org/methodology.html Se supone que se pone medida mas actual de los últimos 270 días. Pasando sino a capa background. Luego en la visualización hay datos más antiguos. Conversión a uSv/h .Mapeado...
Hosting:	MIT Media lab, Amazon S3, mediatemple (GoDaddy)
Appmovil:	Existian previamente, actualmente deshabilitadas.



Web Map Data Flow:



Web Map File Structure



Device example:






1.4.2 Proyecto en estudio: Open Radiation

OPEN RADIATION	
Plataforma mapa web	https://www.openradiation.org/
Datos recopilados	Medición de radiación (diferenciando entre mediciones en vuelo o en tierra). Manual.
Dispositivos OpenRadiation	kit OpenRadiation- github ICOHUP RIUM GM
Dispositivos compatibles	Polismart II 1904A Pocket Geiger Type6 Atom tag Safecast BE
Mapa web info	https://www.openradiation.org/
APIs OpenRadiation	REST-like API necesario API-Key dos partes submit API y request API. https://github.com/openradiation/openradiation-api/tree/master?tab=readme-ov-file#structure-of-the-data API Map tile https://leafletjs.com/index.html
Github info	https://github.com/openradiation
Archivo metadatos	Para su consulta y dado el alto número de campos que se pueden https://github.com/openradiation/openradiation-api/tree/master?tab=readme-ov-file#structure-of-the-data backend: postgresql database/ api: JSON Rest-like API desarrollado en node.js para solicitar database (Licencia Apache 2,0) Licencia datos ODC-ODbl
Subida de datos	Se necesita API Key, solicitada por correo a dev@openradiation.net Automático mediante app Openradiation Manualmente completando todos los campos --> https://www.openradiation.org/node/add/measurement Añadiendo archivo log file (tipo Safecast) --> https://submit.openradiation.net/upload Usando la API de OpenRadiation en nuestra propia plataforma. Metodología y proceso de tratamiento de datos: https://www.openradiation.org/en/how-take-a-measurement



Descarga de datos	Descarga de archivo completo metadatos csv (tar.gz) https://request.openradiation.net/download.html
	Mediante script descarga de mapa con filtros: https://www.openradiation.org/en/map-ground-level-measurements
	Mediante API Openradiation https://request.openradiation.net/ por defecto 400 ultimos puntos.
Proceso validación	200 OK API requested with success, the API will return a JSON object described as below
	201 Created API submitted with success and resource created
	400 Bad Request The request is invalid. An error message is returned (described as below)
	401 Unauthorized apiKey is incorrect. An error message is returned (described as below)
	403 Forbidden The request is understood, but it has been refused. An error message is returned (described as below)
	404 Not Found The URI requested is invalid
	413 Request Entity Too Large The request entity is too large
	500 Internal Server Error Something is broken. You can send an mail to dev@openradiation.net so that we can investigate
Metodología y proceso de tratamiento de datos	Descarga de archivo completo metadatos csv (tar.gz) https://request.openradiation.net/download.html
	Mediante script descarga de mapa con filtros: https://www.openradiation.org/en/map-ground-level-measurements



	Mediante API Openradiation https://request.openradiation.net/ por defecto 400 ultimos puntos.
Appmovil	https://github.com/openradiation/openradiation-mobile Android Studio/Node.js/Cordova plugins- conexion USB.
Icohup device	

1.4.3 Proyecto en estudio: CzechRad

CZECHRAD	
Plataforma web	https://www.suro.cz/en/research
Datos recopilados	Las mediciones se realizaran con el préstamo de los dispositivos Czechrad en producción.
Dispositivos CzechRad	El proyecto trata sobre la adaptación hardwre de dispositivo bgigie nano --> Dispositivo Czechrad https://github.com/juhele/CzechRad/blob/main/DOCUMENTS/CzechRad_detector_leaflet_English_rev2.pdf
Dispositivos compatibles	Safecast devices. Los dispositivos compatibles con Safecast *.LOG file
Mapa web info	Red de radiación desarrollado por empresa privada NUVIA https://suib.gov.cz/aplikace/monras/?lng=en_GB
APIs CzechRad	Usa las mismas que Safecast https://github.com/Safecast/safecastapi https://plugins.qgis.org/plugins/radiation_toolbox_plugin/
Github info	https://github.com/juhele/CzechRad/tree/main
Archivo metadatos	Mismos campos que Safecast https://github.com/juhele/CzechRad/tree/main/DATA \$BNRDD - Usuario 1379 - ID del dispositivo 2023-04-29T08:13:47Z - Fecha en formato iso-8601



	39 - Numero de pulsos del contador en el último minuto.
	2 – Número de pulsos del contador en los últimos 5s.
	143 - total número de pulsos contados.
	A – Contador ha estado un minuto en marcha y el valor no es cero, sino marca 'V'
	3432,1763,N – Latitud ddmm.mmmm y hemisferio
	06909.9889,E – Longitud dddmm.mmmm y ubicación este oeste Greenwich
	1813,50 – Altitud sobre el nivel del mar en metros
	A - validación GPS sino 'V'
	4 – Número de satélites usados por el GPS.
	175 – precisión relativa de la posición horizontal.
Subida de datos	<p>Los valores de la tasa de dosis en microSieverts por hora ($\mu\text{Sv/h}$) no forman parte de los archivos de datos LOG. Los valores de la tasa de dosis (más precisamente, "tasa equivalente de dosis ambiental" - ADER) son calculados temporalmente por el dispositivo (SAFECAST bGeigie Nano, CzechRad, etc.) y luego por otras aplicaciones como SAFECAST API o el complemento Radiation Toolbox para QGIS. Usamos el cálculo a partir de los valores "pulse5s" (número de pulsos proporcionados por el tubo Geiger en los últimos 5 segundos).</p> <p>Para los datos de Safecast, se utiliza el valor 0,0029940119760479 (=1/334) siguiendo el github oficial de Safecast.</p> <p>CzechRad tiene un coeficiente de calibración ligeramente diferente: 0,0030441400304414 (=1/328,5).</p> <p>Cálculo de la tasa de dosis de SAFECAST bGeigie Nano</p> $\text{ADER} = (\text{pulso5s} * 12) * 0,0029940119760479$ <p>Cálculo de la tasa de dosis de CzechRad</p> $\text{ADER} = (\text{pulso5s} * 12) * 0,003044140030441$
Metodología y proceso de tratamiento de datos	Los dispositivos son entregados para cada misión y recogidos al final. El sistema de validación se realiza internamente.



1.4.5 Proyecto en estudio: Gammasense

GAMMASENSE	
Plataforma web:	https://gammasense.org/
Datos recopilados:	Las mediciones se realizaran con el préstamo de los dispositivos Czechrad en producción.
Dispositivos Gammasense:	Mediciones con dispositivos DIY (tipo Safecast y mediciones con CMOS cameras) https://sites.google.com/site/diygeigercounter/home/gk-radmon
Dispositivos compatibles:	Dispositivos compatibles: Smartphones con algoritmo CMOS gammasense
Mapa web info:	https://gammasense.org/map/
APIs Gammasense:	https://github.com/waagsociety/GammaSense-algo/blob/master/R_files/RadMon.R API map tile https://www.openstreetmap.org/#map=13/41.52336/-0.90311&layers=C
Github info:	Algoritmo calculo CMOS https://github.com/waagsociety/GammaSense-algo
App móvil:	https://gammasense.org/wp-content/uploads/sites/13/gammasense-sensorkit-handleiding.pdf

1.4.6 Proyecto en estudio: Saveecobot

SAVEECOBOT	
Plataforma mapa web:	https://www.saveecobot.com/en



Datos recopilados:	Mediciones para análisis emergencias: Calidad del aire, radiación, incendios.
Dispositivos Saveecobot	Dispositivos organismos tipo ministerio de sanidad...
Mapa web info:	https://www.saveecobot.com/en/radiation-maps#6/48.879/31.113/gamma+usv/ara+arc+clua+cuc+crc
APIs Saveecobot:	API map tile https://carto.com/ Openstreetmap https://docs.saveecobot.com/docs/api-docs/010f127669626-save-eco-bot-api https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdrChoVE_VPO7GtEawmslePtoMRGHD-L5YXmjif_qbGU5msLg/viewform
Github info:	https://github.com/MaxymVlasov/eco-data-visualizer https://github.com/OpenBfS/bfs_saveecobot_loader
Archivo metadatos	https://docs.saveecobot.com/docs/ukraine-radiation-api-ukrainian/e6782ce937a45-pereklik-stanczij-radiaczijnogo-monitoringu data array[object] sensor_id integer updated_at string (Date and time of the last update of the background radiation indicator. Time zone used: Kyiv, Ukraine (EST – Eastern European Time). gamma_nsv_h number (The latest radiation background indicator (dose rate of ionizing radiation, gamma radiation) in nanosieverts per hour (nSv/h). is_old integer Flag that the latest readings are outdated and have not been updated in time. This flag is populated according to the frequency with which the data is updated at the monitoring station. >= 0 <= 1



Archivo metadatos estaciones	data array[object]
	sensor_id integer
	sensor_name string
	latitude string
	longitude string
	region_name string
	city_type_name string
	city_name string
	platform_name string
	notes string
	url_maps string
Archivo metadatos calidad del aire	Metadatos valores calidad del aire https://api.saveecobot.com/output.json
	bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0



2. Estado del arte en dispositivos de medida de la radiación y respuesta de los detectores de radiación gamma a utilizar en el proyecto

2.1 Glosario y Nomenclatura

ANCCLI: Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (Francia)

CPM: Cuentas por Minuto

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear

ENAC: Entidad Nacional de Acreditación

IFFO-RME: Institut Français des Formateurs Risques Majeurs et Protection de l'Environnement

INTE: Instituto de Técnicas Energéticas

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya

IONHE: Ionising Radiation, Health and Environment (Radiaciones Ionizantes, Salud y Medio Ambiente)

IRSN: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (Francia)

LCD: Laboratorio de Calibración y Dosimetría

LER: Laboratorio de Estudios del Radón

OR1: Open Radiation (Icohup modelo Rium GM Ble-b nºs e0969863)

OR2: Open Radiation (Icohup modelo Rium GM Ble-b nºs d7d93bd6)

RC1: RadiaCode modelo Radiacode 102 nºs RC-102-003365

RC2: RadiaCode modelo Radiacode 102 nºs RC-102-003480

RAR: Red de Alerta de Radiactividad

REM: Redes de Estaciones de Muestreo

REA: Redes de Estaciones Automáticas

SC1: SafeCast modelo bGeigieZen nºs 5021

SC2: SafeCast modelo bGeigieZen nºs 5020

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

ONU: Organización de Naciones Unidas

$\dot{H}^*(10)$: Tasa de equivalente de dosis ambiental, 'tasa de dosis' por brevedad.

2.2 Introducción

La radiactividad ambiental a la que normalmente está expuesta la población es debida mayoritariamente a causas naturales (contribución cósmica y terrestre), Figura 1, pero se pueden producir exposiciones puntuales debidas a accidentes nucleares y/o radiológicos.

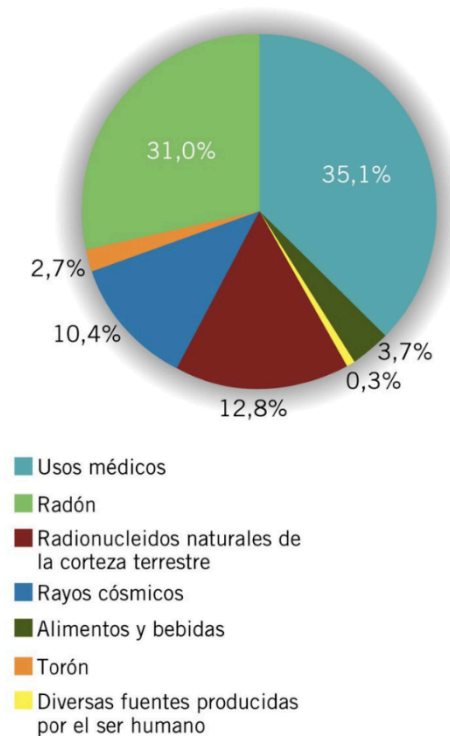


Figura 1. Contribución de las diferentes fuentes de exposición de origen natural y artificial a la dosis recibida por la población (Fuente: [CSN](#)).

Es fundamental llevar a cabo, en cada país, una vigilancia continuada sobre el territorio de los niveles de radiactividad ambiental para poder detectar y reaccionar en casos de incrementos anómalos.

Las redes de radiactividad ambiental oficiales están diseñadas para medir de manera continua la radiactividad ambiental en un territorio con una amplia resolución espacial y temporal. Estas redes proporcionan el valor de fondo de la tasa de dosis ambiental en una zona y permiten detectar cualquier incremento y, si es necesario, emitir las alertas correspondientes, ya que podría tratarse de una emisión no declarada de radioisótopos al medio ambiente o de accidentes nucleares y/o radiactivos.

La mayoría de estas redes combinan estaciones de medición fijas y móviles. La alimentación de datos de estas redes suele estar a cargo de organismos gubernamentales. En España las redes oficiales son gestionadas por el CSN, que recoge datos de carácter institucional y normativo sujetos a rigurosos controles de calidad. Concretamente, recogen datos de redes de estaciones automáticas ([REA](#)) y de redes de estaciones de muestreo ([REM](#)). Las estaciones automáticas recogen datos en tiempo real de la tasa de dosis gamma, y las de muestreo analizan radiológicamente muestras obtenidas del suelo, el aire, el agua y los alimentos.

En la Figura 2 se puede ver el mapa de mediciones de la REA, donde se muestran los valores en tiempo real de la tasa de dosis. Desde cada estación se puede acceder a las gráficas de la tasa de dosis media en 10 minutos, una hora o un día.

El CSN también recibe alertas de la red de alerta de radiactividad ([RAR](#)) gestionada por la Dirección General de Protección Civil de España. Esta red cuenta con más de 800 estaciones repartidas por todo el territorio.

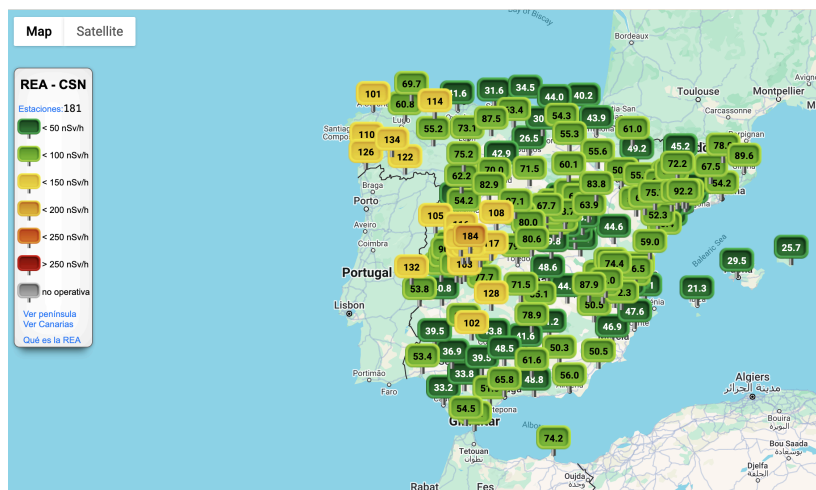


Figura 2. Mapa de los valores de tasa de equivalente de dosis ambiental (en unidades de nSv/h) medidos en tiempo real en las estaciones de la REA.

En este contexto, surge la posibilidad de complementar las redes oficiales con los datos obtenidos por ciudadanos mediante dispositivos portátiles de bajo coste, tal y como ya se ha hecho en otros países ([Openradiation](#)). Este tipo de iniciativas contribuyen a concienciar a la población sobre la presencia de radiación en su entorno y la importancia de su vigilancia, así como a sensibilizar sobre los riesgos que provoca a niveles más altos. Además, estas redes, pueden proporcionar información de gran valor para la toma de decisiones en caso de una emergencia por el potencial de su elevada resolución espacial que complementarían a las redes “oficiales”.

El proyecto [OpenRed](#), financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear, quiere impulsar la participación en el desarrollo y uso de detectores de bajo coste para la medida de la radiación gamma ambiental, a partir de la experiencia de las plataformas OpenRadiation y [Safecast](#). Además, el proyecto pretende acercar a la ciudadanía conocimientos de protección radiológica mediante las herramientas de que dispone la ciencia ciudadana.

El proyecto OpenRed se inició en 2024 y cuenta con treinta meses para diseñar una infraestructura tecnológica basada en experiencias previas como OpenRadiation y Safecast, incluyendo la selección y caracterización de detectores, un portal web y protocolos de validación y análisis de datos. Además, el proyecto promueve la participación activa de la ciudadanía mediante actividades formativas, hackathones y



experimentos de inteligencia colectiva. Un equipo de expertos de diversas universidades, entre ellos miembros del INTE-UPC, supervisarán su desarrollo, asegurando su viabilidad técnica, social y operativa. Las otras universidades que participan son la Universidad de Zaragoza, la Universidad de Cantabria y la Universidad Complutense, concretamente el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

El presente informe recoge las actividades de la primera fase del proyecto OpenRed. Se presenta la metodología y los resultados obtenidos para evaluar la respuesta de varios dispositivos comerciales de medición de radiación gamma, con la finalidad de poder elegir los más adecuados para que puedan ser sucesivamente utilizados en las misiones ciudadanas de la segunda fase del proyecto. Esta primera fase ha sido llevada a cabo en las instalaciones del [Instituto de Técnicas Energéticas](#) de la [Universitat Politècnica de Catalunya](#) y por parte de expertos/as del grupo de investigación [IONHE](#) de la misma universidad.

Después de un análisis del estado del arte de los proyectos de ciencia ciudadana y radiactividad ambiental y de los dispositivos de medida de bajo coste para la medida de la radiación disponibles en el mercado, se eligieron y compraron los equipos: GQ GMC-500+, SmartGeiger, GammaPix (v 3.0.1 en IOS y v3.9.3 en Android), RadiaCode 102, Safecast bGeigieZen y Rium GM. Bajo condiciones controladas de laboratorio, se estudió la respuesta de los dispositivos a: i) diferentes niveles de tasa de dosis; ii) distintas condiciones de temperatura; iii) diferentes ángulos de exposición; iv) haces de radiación con diferentes energías; v) el fondo cósmico.

2.3 Metodología

2.3.1 Selección de los detectores

Para la selección de los dispositivos a caracterizar, en total seis diferentes, se siguió un proceso que combina la experiencia previa de otros proyectos de ciencia ciudadana y radiactividad ambiental con un estudio de las opciones que ofrece el mercado. Dos de los dispositivos seleccionados provienen de los proyectos anteriores: OpenRadiation (Rium GM) y Safecast. Con estos dispositivos, se puede aprovechar el conocimiento adquirido en dichos proyectos y, dada la similitud con OpenRed, se consideró que podían ofrecer una fiabilidad y funcionalidad adecuadas para la medición de la radiación gamma ambiental. Los otros cuatro dispositivos se seleccionaron a partir del estudio de mercado. Los factores considerados fueron:

- La abordabilidad del precio para la ciudadanía.
- Las especificaciones técnicas del fabricante (rango de medida y tipo de radiación detectada).
- La posibilidad de geolocalización.
- La disponibilidad de herramientas para poder acceder y tratar los datos medidos.



En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características principales, indicadas por el fabricante, de los seis tipos de detectores elegidos.



Dispositivo	Tipo de detector	Tipo de radiación detectada	04 Ejemplo	Precio [€]	Rango de trabajo [μ Sv/h]	GPS	Tratamiento de los datos
GammaPix		Imagen procesada utilizando la cámara del móvil	Rayos X - Gamma	≈ 15	-	Sí	Los datos se ven a través de la App.
GMC500+		Geiger-Müller	Beta - Gamma - Rayos X,	≈ 150	0 - 42500	No	Tiene un software asociado. Los datos se visualizan en pantalla y se graban en un fichero.
RadiaCode 102		Centelleador (Csl)	Rayos X - Gamma	≈ 230	0.1 - 1000	Sí	Tiene App asociada. Los datos se visualizan en pantalla y se graban en un fichero.
Rium GM		Geiger-Müller	Rayos X - Gamma	≈ 120	0.05 - 10000	Sí	Los datos se ven a través de la App y pueden enviarse a la web de OpenRadiation. No tiene pantalla.
Safecast bGeigieZen		Geiger-Müller	Alfa - Beta - Gamma - Rayos X,	≈ 350	-	Sí	MicroSD donde graba los datos y envío automático a la BBDD de Safecast. Dispone de pantalla.
SmartGeiger		Geiger-Müller	Rayos X - Gamma	≈ 40	-	No	Los datos se ven a través de la App. Sin pantalla propia.

Tabla 1. Resumen de las características principales (declaradas por los fabricantes) de los dispositivos seleccionados



2.3.2 Fases Experimentales y Laboratorios del INTE-UPC

Los sensores seleccionados para este estudio (Tabla 1) se caracterizaron mediante cinco experimentos distintos (5 Fases). Al final de cada fase, se analizaron los resultados para decidir con qué detectores seguir y cuáles descartar porque su respuesta/uso no era útil para el objetivo del proyecto Openred y sus misiones de ciencia ciudadana. Las diferentes fases experimentales se dividieron en:

- Fase 1 (Sección 2.2.1): Estudio de la linealidad de la respuesta de los equipos, y su reproducibilidad, a diferentes tasas de equivalente de dosis ambiental utilizando fuentes de ^{137}Cs (661.7 keV).
- Fase 2 (2.2.2): Estudio de la respuesta angular de los equipos a una tasa de equivalente de dosis ambiental fija (de 10 $\mu\text{Sv/h}$) obtenida con una fuente de ^{137}Cs (661.7 keV).
- Fase 3 (2.2.3): Estudio de la respuesta de los equipos a haces de diferentes energías utilizando rayos X de espectro estrecho (energías medias entre 48 keV – 250 keV) y fuente de ^{137}Cs (661.7 keV).
- Fase 4 (2.2.4): Estudio de la respuesta relativa de los equipos a una misma tasa de dosis bajo diferentes condiciones de temperatura ambiente (15 $^{\circ}\text{C}$ – 35 $^{\circ}\text{C}$).
- Fase 5 (2.2.5): Estudio del fondo de radiación cósmica medido por los detectores.

Las Fases 1, 2 y 3 se realizaron, en el Laboratorio de Calibración y Dosimetría ([LCD](#)) del INTE-UPC. La Fase 4 se realizó en la cámara climática del Laboratorio de Estudios del Radón ([LER](#), Vargas et al., 2004) del INTE-UPC. Finalmente, la Fase 5 se llevó a cabo mediante un experimento en un barco en la costa de la ciudad de Barcelona (Cataluña, España). En la Fase 1 participaron todos los detectores presentados en la Tabla 1 y se utilizaron 2 detectores de cada tipo para el estudio de reproducibilidad. En las fases sucesivas solo se utilizaron los equipos RadiaCode (RC), Rium GM (OR) y Safecast (SC).

El LCD (Figura 3) es un laboratorio acreditado por ENAC desde 1997 de acuerdo con la norma ISO 17025. Las instalaciones de este laboratorio cuentan, entre otros, con:

- un irradiador gamma con capacidad para alojar ocho fuentes radiactivas: una fuente de ^{241}Am , seis de ^{137}Cs y una fuente de ^{60}Co .
- un generador de rayos X de alta estabilidad con tensión máxima de 320 kV.



Figura 3. Instalaciones del LCD. El equipo de rayos X es móvil (en posición de trabajo en el centro de la imagen) y permite ser retirado cuando funciona el irradiador gamma (a la derecha en la imagen).

El LER (Figura 4) dispone de una cámara de radón de 20 m³, equipada con instrumentos de medida y sistemas automáticos de control que permiten reproducir condiciones estables de gas radón, así como de temperatura y humedad relativa en un amplio rango. En las siguientes secciones se detallará, para las diferentes fases experimentales, la metodología utilizada.

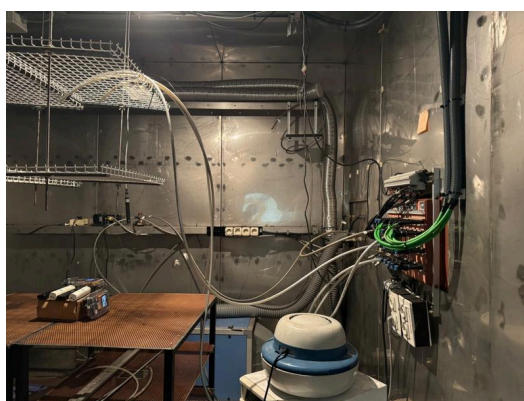


Figura 4. A la izquierda se observa una vista general del interior de la cámara climática del LER y a la derecha la disposición de los detectores durante la fase 4 de este estudio.

2.3.2.1 Fase 1: Linealidad y Reproducibilidad

Para esta fase, se utilizaron cinco de las fuentes de ^{137}Cs del LCD, que son las que habitualmente se emplean en el laboratorio para la calibración de equipos de medida de radiación ambiental. Se ha estudiado la respuesta de todos los dispositivos seleccionados ante diferentes niveles de tasa de equivalente de dosis ambiental (de 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ a 1000 $\mu\text{Sv/h}$), con el fin de:

- Determinar la linealidad en la respuesta de los distintos modelos de detectores.
- Determinar la diferencia en la respuesta entre dos dispositivos del mismo modelo. Para ello, se han irradiado simultáneamente dos unidades de cada tipo, con el objetivo de verificar la coherencia de los resultados obtenidos.
- Determinar la diferencia entre los valores de tasa de dosis mostrados en las pantallas de los equipos y los que se almacenan automáticamente en sus ficheros (siempre que el dispositivo disponga de pantalla y/o registro de datos).

En la Figura 5 se pueden ver dos imágenes del experimento para los equipos RC y OR. Durante los experimentos, el campo de radiación era suficientemente amplio y los detectores suficientemente pequeños como para que no haya efectos significativos de radiación dispersa ni atenuación entre los dispositivos. Los niveles de tasa de equivalente de dosis ambiental seleccionados para los distintos equipos fueron comparables entre ellos, teniendo en cuenta sus respectivos rangos de trabajo.

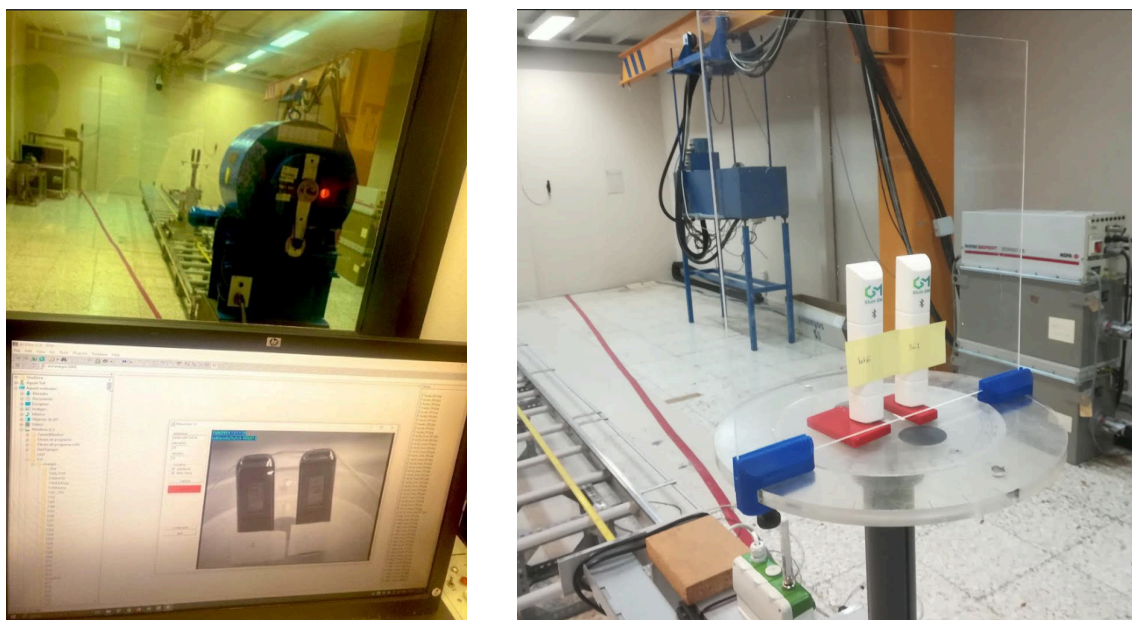


Figura 5. Imagen del LCD durante la Fase 1 del estudio con los equipos RC (izquierda) y OR (derecha).

Cuando las características del dispositivo lo han permitido, en cada irradiación se disponía de dos valores: el valor mostrado en pantalla, es decir, el que aparece en tiempo real (ya sea en la pantalla del detector o mediante una aplicación), que el usuario puede



ver directamente, y el valor registrado en fichero, que el dispositivo almacena (cuando dispone de esa funcionalidad) de forma continua durante el experimento.

Los valores que mostraban los equipos en pantalla se registraban una vez el equipo se había estabilizado, anotándose 10 medidas a intervalos constantes de tiempo para poder calcular un valor promedio. En los dispositivos SmartGeiger y GammaPix no fue posible tomar medidas debido a las dificultades de estabilización (véase el apartado de resultados 4.1 para más detalles).

En el caso de las medidas registradas en fichero por los equipos, los dispositivos registran de forma continua, pero con intervalos de tiempo distintos según el modelo, por lo que no siempre se dispone del mismo número de registros: GQ500+ (1 sec), SC (5 sec), OR (5 min), RC (no mide en intervalos constantes). Cabe destacar que GammaPix y SmartGeiger no almacenan ficheros y solo muestran los datos en directo a través de la pantalla del móvil.

El análisis de los resultados de este experimento se llevó a cabo calculando el factor de calibración (F_{cal}), es decir, el cociente entre el valor de referencia del LCD (V_{ref}) y el valor promedio de las n medidas de cada equipo mostradas en pantalla y/o en el fichero grabado (V_{Medido}):

$$F_{cal} = \frac{V_{ref}}{V_{Medido}} \quad (1)$$

La incertidumbre asociada a este factor de calibración u_F , se calcula a partir de la fórmula general de propagación de errores sin tener en cuenta la incertidumbre asociada al valor de referencia del laboratorio (aproximadamente un 5 %, $k=2$), con el objetivo de evaluar solo la incertidumbre relacionada con la respuesta de los equipos irradiados.

$$u_F = \frac{V_{ref} * u_{V_{Medido}}}{V_{Medido}^2} \quad (2)$$

- donde $u_{V_{Medido}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, siendo σ la desviación típica de las n medidas.

2.3.2.2 Fase 2: Respuesta Angular

A partir del análisis de los resultados obtenidos en la Fase 1, en esta fase únicamente participan los equipos Radiacode (RC), Safecast (SC) y Rium (SC). En esta fase, el objetivo es estudiar la respuesta de los detectores para distintos ángulos de incidencia de la radiación. Para cada modelo, se irradió una única unidad a una tasa de equivalente de dosis ambiental constante (10 μ Sv/h). Se realizaron sucesivas irradiaciones rotando el equipo verticalmente y horizontalmente cada 30° y tomando como centro de rotación el centro del detector, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 6 para el RC.



Figura 6. Ejemplo de rotación vertical (izquierda) y horizontal (derecha), en el caso del dispositivo Radiacode. El eje de rotación pasa por el baricentro del detector colocado en el interior de la carcasa.

En la Figura 7 (sección de resultados) se presentan los ejes de rotación para cada dispositivo. Para el equipo RC, el detector es un cristal cúbico de $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$. En el equipo OR, el detector es un tubo Geiger-Müller situado a lo largo del dispositivo y, en el equipo SC, el detector es igualmente un Geiger-Müller pero de tipo *pancake* y situado en la cara opuesta al visualizador.

En el análisis de resultados se calculó la relación (G) entre la lectura proporcionada por el detector para cada ángulo de rotación ($V_{Medido}(\alpha)$) y la lectura a 0° ($V_{Medido}(0^\circ)$), cuando el haz de radiación incide perpendicularmente sobre la superficie del detector y su respuesta se espera óptima. En este caso, se utilizaron los valores que los equipos muestran por pantalla (aplicación en el caso del OR) y no los del fichero.

$$G = \frac{V_{Medido}(\alpha)}{V_{Medido}(0^\circ)} \quad (3)$$

2.3.2.3 Fase 3: Respuesta Energética

En esta fase de nuevo únicamente participan los detectores Radiacode (RC), Safecast (SC) y Rium (OR). El objetivo era analizar la respuesta de los equipos a haces de radiación de diferentes energías. Para ello se utilizaron calidades de rayos X de espectro estrecho (de acuerdo a la norma [ISO 4037-1](#)) que, si bien no son haces monoenergéticos, como su nombre indica la resolución espectral es suficientemente pequeña para que se consideren adecuados en este tipo de estudios.

Nuevamente, se irradiaron las dos unidades de cada modelo. El diámetro de campo permite asegurar una irradiación homogénea de los dos dispositivos. Las calidades utilizadas en cada caso y sus respectivas energías medias son para cada equipo:

- RC: N-60 (47.7 keV), N-80 (65.1 keV), N-120 (100.4 keV), N-200 (165 keV), N-300 (250 keV).
- SC: N-80 (65.1 keV), N-120 (100.4 keV), N-200 (165 keV), N-300 (250 keV).
- OR: N-80 (65.1 keV), N-120 (100.4 keV), N-200 (165 keV), N-300 (250 keV).



En el análisis se calcula la respuesta de cada equipo (R) como el cociente entre la lectura promedio del equipo (V_{Medido}), obtenida a partir de los valores mostrados por pantalla (aplicación en el caso del Rium), y el valor de referencia del LCD (V_{ref}).

$$R = \frac{V_{Medido}}{V_{ref}} \quad (4)$$

La incertidumbre asociada a la respuesta u_R , se calcula a partir de la fórmula general de propagación de errores sin tener en cuenta la incertidumbre asociada al valor de referencia del laboratorio (aproximadamente un 5 %, $k=2$), con el objetivo de evaluar solo la incertidumbre relacionada con la respuesta de los equipos irradiados.

$$u_R = \frac{u_{V_{Medido}}}{V_{ref}} \quad (2)$$

- donde $u_{V_{Medido}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, siendo σ la desviación típica de las n lecturas.

2.3.2.4 Fase 4: Influencia de la Temperatura

Este experimento tenía como objetivo analizar como la respuesta de los detectores seleccionados a una misma tasa de dosis podía variar bajo condiciones de temperatura extremas. Tal como se muestra en la Figura 4, los dispositivos se colocaron en una mesa, en contacto con la caja contenedora de una fuente radiactiva encapsulada de ^{85}Kr . El valor de la tasa de dosis sobre la caja era de aproximadamente $2 \mu\text{Sv/h}$.

A diferencia de los experimentos anteriores, en esta fase todos los dispositivos realizaron medidas simultáneamente y estuvieron en una posición fija durante toda la duración del experimento. La temperatura dentro de la cámara se varió desde unos 10°C hasta unos 35°C . La medida empezó en condiciones de temperatura ambiente ($22^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}$), se fue reduciendo hasta alcanzar los 10°C , y después de unas horas se incrementó de manera controlada hasta los 35°C . Los dispositivos expuestos en esta fase fueron el RC, SC y OR. La duración total del experimento fue de unas 10 horas.

2.3.2.5 Fase 5: Medida de Radiación Cósmica

Este último experimento tenía como objetivo determinar el nivel de sensibilidad de estos equipos a la radiación cósmica. Para ello, ha sido necesario diseñar un experimento que permitiera alejar los equipos de las fuentes de radiactividad natural debidas a los materiales de construcción y del propio suelo. Estas condiciones se podrían conseguir idealmente efectuando las medidas en un entorno rodeado de agua con suficiente profundidad, como por ejemplo utilizando una plataforma fija en el centro de un lago.

Sin embargo, dada la imposibilidad de lograr esta situación durante los meses de proyecto, se decidió efectuar el experimento instalando los detectores en una embarcación turística que efectúa un recorrido en la costa Barcelonesa ([Las](#)

Golondrinas). El recorrido, Figura 7, se inicia en el Port Vell de Barcelona y se desarrolla aproximadamente a unos 2 km de la costa.

Los dispositivos RC (véase Figura 8), SC y OR tomaron mediciones simultáneamente durante todo el trayecto. Además, el dispositivo Safecast también registró su posición durante todo el recorrido. Una vez finalizado el trayecto, se continuaron tomando mediciones de las tasas de dosis y de la posición durante aproximadamente 30 minutos más, con el objetivo de poder comparar los datos obtenidos sobre el agua con los medidos en tierra.



Figura 7. Mapa del recorrido de Las Golondrinas utilizado para la fase 5 del presente estudio.



Figura 8. Imagen de la pantalla del RC durante el recorrido de las Golondrinas más lejano de la costa de Barcelona.

2.4 Resultados

2.4.1 Fase 1: Linealidad y Reproducibilidad

La Tabla en el Anexo I de este documento muestra los valores medios de tasas de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) de los datos mostrados en pantalla/app por cada detector y/o sensor irradiado durante el experimento de linealidad y reproducibilidad. No hay datos disponibles por el sensor SmartGeiger porque este detector no fue capaz de detectar ningún nivel de dosis. La aplicación GammaPix en cambio no fue capaz de detectar niveles de dosis inferiores a $100 \mu\text{Sv/h}$ y su uso fue descartado para las campañas de medida con la ciudadanía que se desarrollaran a niveles de dosis ambiental (en el orden de $0.1\text{-}0.2 \mu\text{Sv/h}$).

La Figura 9 muestra la comparación del factor de calibración (F_{cal} en la ecuación 1) calculado para cada uno de los diferentes equipos y modelos y considerando las lecturas de pantalla y las lecturas registradas en el fichero.

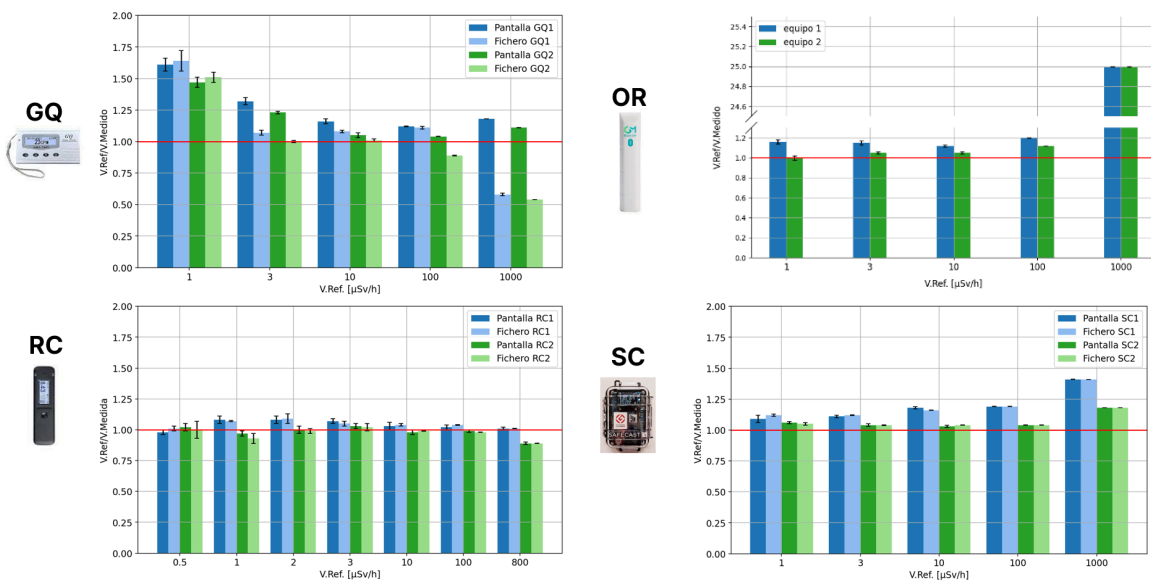


Figura 9. Cociente (F_{cal}) entre el valor de referencia del LCD (V_{Ref}) y el valor medio de las lecturas registradas (V_{Medido}) por cada tipo detector (dos unidades). Se muestran los resultados obtenidos para la lectura en pantalla (azul y verde oscuro) o utilizando los datos de los ficheros generados (azul y verde claro). Las líneas rojas horizontales muestran el valor $F_{\text{cal}} = 1$.

Como puede observarse en la figura, el equipo GQ tiene una discrepancia variable entre los valores presentados en pantalla y los valores grabados en el fichero de resultados del equipo. Esta discrepancia, se ha identificado como debida a la aplicación de diferentes coeficientes de calibración por parte del algoritmo del equipo cuando realiza la conversión de cuentas por minuto a $\mu\text{Sv/h}$.



Esta diferencia no se pudo justificar a partir de las características técnicas del equipo y este hecho, junto con la falta de geolocalización del detector, hizo que se descartara para las siguientes fases del proyecto OpenRed.

En el caso del equipo OR, no almacena los datos en ningún fichero, los resultados representados corresponden a los que indica la aplicación de móvil, que realiza la función de pantalla del dispositivo. Para ambos equipos se observa una subestimación del valor de tasa de dosis muy elevada para valores de 1 mSv/h. De acuerdo a las características del equipo según fabricante (Tabla 1), su rango de trabajo alcanza los 10 mSv/h, de forma que no cumpliría las especificaciones técnicas. Aun así, dado que las dosis esperadas en el proyecto se sitúan por debajo de 1 μ Sv/h y la respuesta del equipo es aceptable hasta los 100 μ Sv/h se mantiene dentro de las demás fases de estudio.

Los equipos RC y SC muestran acuerdo, dentro de las incertidumbres, entre las lecturas por pantalla y los valores registrados en el fichero. En el caso de los dispositivos RC, ambos equipos tienen una respuesta similar que se sitúa en torno a $F_{cal} = V_{Ref} / V_{Medido} = 1$, con desviaciones máximas de, aproximadamente, un 10 %. Entre ambos dispositivos RC, la discrepancia mayor es del 12 % para una tasa de dosis de 800 μ Sv/h. En los dispositivos RC no se alcanza el valor de 1 mSv/h porque el equipo satura al alcanzarse el límite de su rango de trabajo (Tabla 1). Cuando alcanza este valor máximo, el equipo muestra un aviso en la pantalla y en el fichero.

Los dispositivos SC muestran más discrepancia entre ambas unidades a valores más altos de tasa de dosis. La unidad SC2 tiene asociado un factor de calibración (V_{Ref} / V_{Medido}) de, aproximadamente, 1.05, excepto para 1 mSv/h que se sitúa en 1.18. En el caso de la unidad SC1, el factor de calibración se sitúa entre 1.10 – 1.20 y alcanza un valor de 1.4 para una tasa de 1 mSv/h.

2.4.2 Fase 2: Respuesta Angular

La Figura 10 muestra la variación en la respuesta de los equipos RC, SC y OR a una tasa de dosis de referencia (de 10 μ Sv/h) cuando el equipo viene irradiado en una posición que tiene una incidencia angular entre 0° y 360° respecto a sus dos ejes de simetría (en relación a la posición del detector interno: cristal CsI o Geiger-Müller).

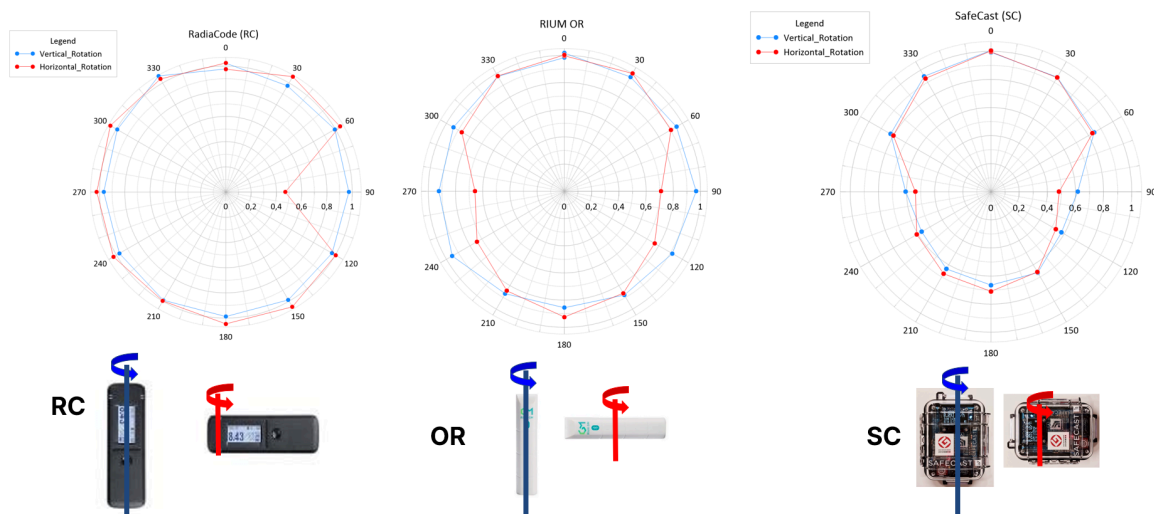


Figura 10. Respuesta angular de los tres detectores respecto a un giro vertical y horizontal.

Para el equipo RC (a la izquierda en Figura 10), la respuesta es homogénea en todos los ángulos de incidencia a excepción de los 90° en giro horizontal. Este punto corresponde a la radiación incidiendo perpendicularmente sobre la cara del equipo opuesta a la posición del detector, donde se encuentra toda la electrónica del dispositivo.

Para el equipo OR (al centro de la Figura 10), la respuesta es muy homogénea durante su rotación vertical (G varía entre 0.9 y 1.0), mientras que en su rotación horizontal se observa una caída en la respuesta entre $60^\circ - 120^\circ$ y entre $240^\circ - 300^\circ$. Este resultado es esperable debido a la forma cilíndrica del detector. En la rotación vertical, la superficie irradiada del detector se mantiene constante. Sin embargo, en la rotación horizontal la superficie irradiada del detector varía con el giro. Para una incidencia de 0° y 180° , el haz incide perpendicularmente sobre toda la superficie del detector, mientras que para 90° y 270° únicamente se irradia la superficie correspondiente a la base del cilindro detector.

En el equipo SC (a la derecha en Figura 10), se observa una fuerte dependencia angular tanto en el giro vertical como horizontal. Esto se debe a la forma *pancake* del detector Geiger-Müller que se localiza detrás del visualizador. En la figura se observa que a partir de unos 30° , la respuesta cae y ello es debido a que la radiación alcanza el detector en una geometría completamente distinta a la esperada y debe atravesar toda la electrónica del dispositivo.

2.4.3 Fase 3: Respuesta Energética

En la Figura 11 se muestra la respuesta de los equipos (V_{medido}/V_{ref}) en función de la energía, incluyendo también la energía del ^{137}Cs (puntos a 661.7 KeV).

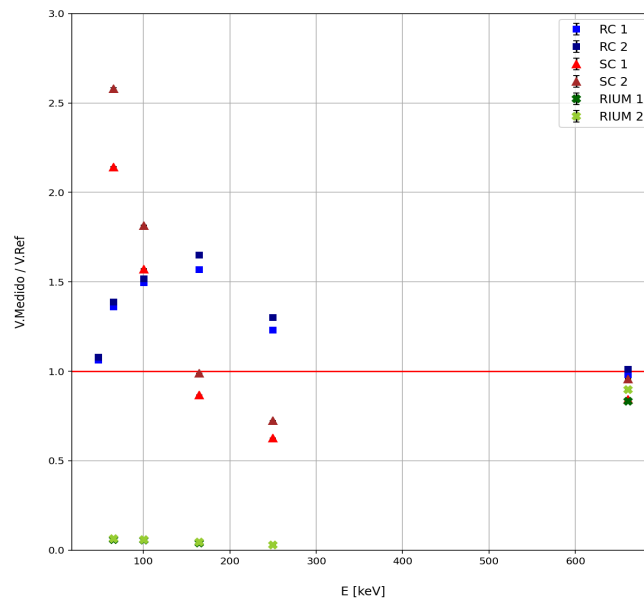


Figura 11. Ratio entre la respuesta de los detectores (V_{Medido}) y el valor de referencia del LCD (V_{Ref}) a diferentes energías (keV). RadiaCode (RC 1 y RC2), SafeCast (SC1 y SC2) y Open Radiation (RIUM 1 y RIUM 2).

La respuesta de las dos unidades SC muestra una alta sobreestimación a bajas energías (≤ 100 keV). Este comportamiento es típico de los detectores Geiger-Müller no compensados energéticamente (Kržanović, N. et al., 2019; McGregor, D. et al., 2020). Similarmente a los resultados del apartado 3.1., las lecturas de la unidad SC1 son inferiores a las de la unidad SC2.

La respuesta de los equipos OR (Rium en la leyenda de Figura 11), se sitúa por debajo del 10 % del valor de referencia en ambas unidades para todas las energías diferentes del ^{137}Cs . El comportamiento esperado sería similar al de los equipos SC, al tratarse en ambos casos de detectores tipo Geiger-Müller y no encaja con anteriores estudios realizados. Se ha contactado con el fabricante para poder analizar las causas. Finalmente, en el caso de los equipos RC, también se observa una sobreestimación para energías entre 65 keV y 250 keV con un máximo aproximadamente en 165 keV (N-200), si bien es el equipo que proporciona una respuesta más estable en todo el rango energético. En este caso, el cálculo de dosis se realiza a partir del espectro obtenido por el equipo y aplicando un método de bandas (Kessler et al., 2017). Dividir el espectro en más intervalos energéticos, añade precisión a la vez que complejidad al algoritmo de cálculo, por lo que el número de bandas que considere el fabricante resulta determinante a la hora de obtener un cálculo preciso de dosis.

2.4.4 Fase 4: Influencia de la Temperatura

La Figura 12 muestra los resultados del experimento realizado en la cámara climática del LER. Se puede observar la respuesta de cada equipo (una unidad) a una misma tasa de

dosis cuando hay una variación de la temperatura ambiente entre 15 °C – 35 °C. Una variación de la temperatura ambiental de 20 °C no parece influir en la respuesta de los detectores.

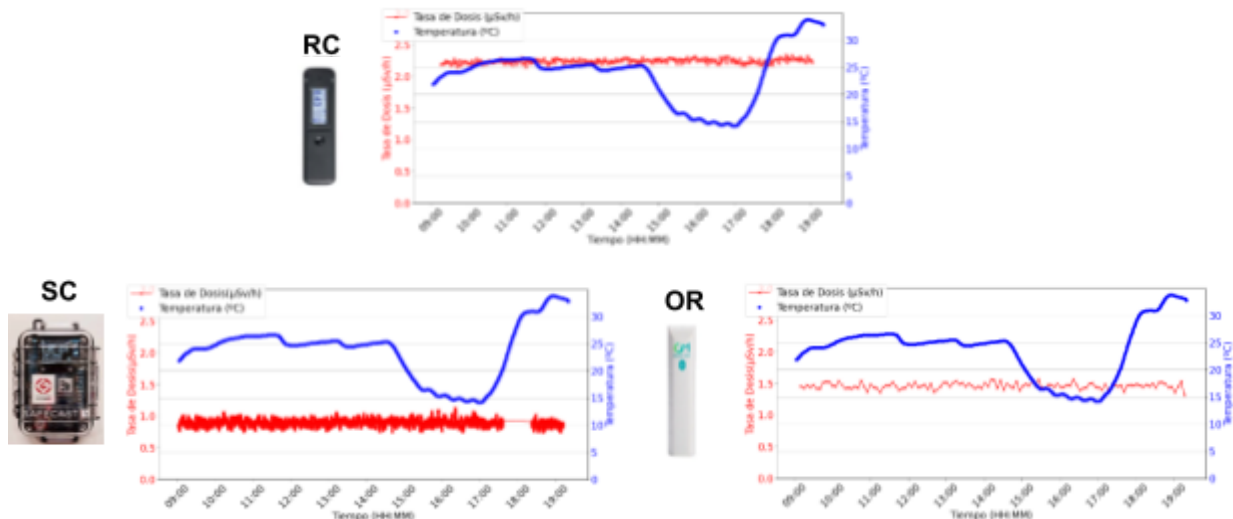


Figura 12. Variación de la respuesta de la tasa de dosis medida por los tres equipos (líneas rojas) simultáneamente durante 10 horas y con una variación de la temperatura ambiental (líneas azules) entre aproximadamente (15-35) °C.

2.4.5 Fase 5: Medida de la Radiación Cósmica

La Figura 13 muestra los valores de tasa de dosis medidos por los tres equipos durante el trayecto del barco Las Golondrinas a lo largo de la costa Barcelonesa (aproximadamente entre las 12:00 y las 13:00) y, posteriormente, un recorrido a pie en la zona portuaria (13:00-13:30 h). Se puede observar que los equipos con respuesta temporal más rápida (el RC y especialmente el SC) muestran una diferencia en el valor promedio medido cuando los detectores se encontraban en el mar, a pocos km de la costa, y en tierra. El SC midió un promedio de tasa de dosis en un intervalo de 0.06-0.08 $\mu\text{Sv/h}$ durante el viaje en barco mientras su promedio subió hasta los 0.10 $\mu\text{Sv/h}$ una vez en tierra firme. El RC también midió una tasa de dosis promedio más baja cuando se encontraba sobre la superficie del mar (aproximadamente unos 0.02 $\mu\text{Sv/h}$) y volvió a subir una vez en tierra. La baja resolución temporal del OR no permite observar diferencias apreciables entre los dos tipos de trayectos.

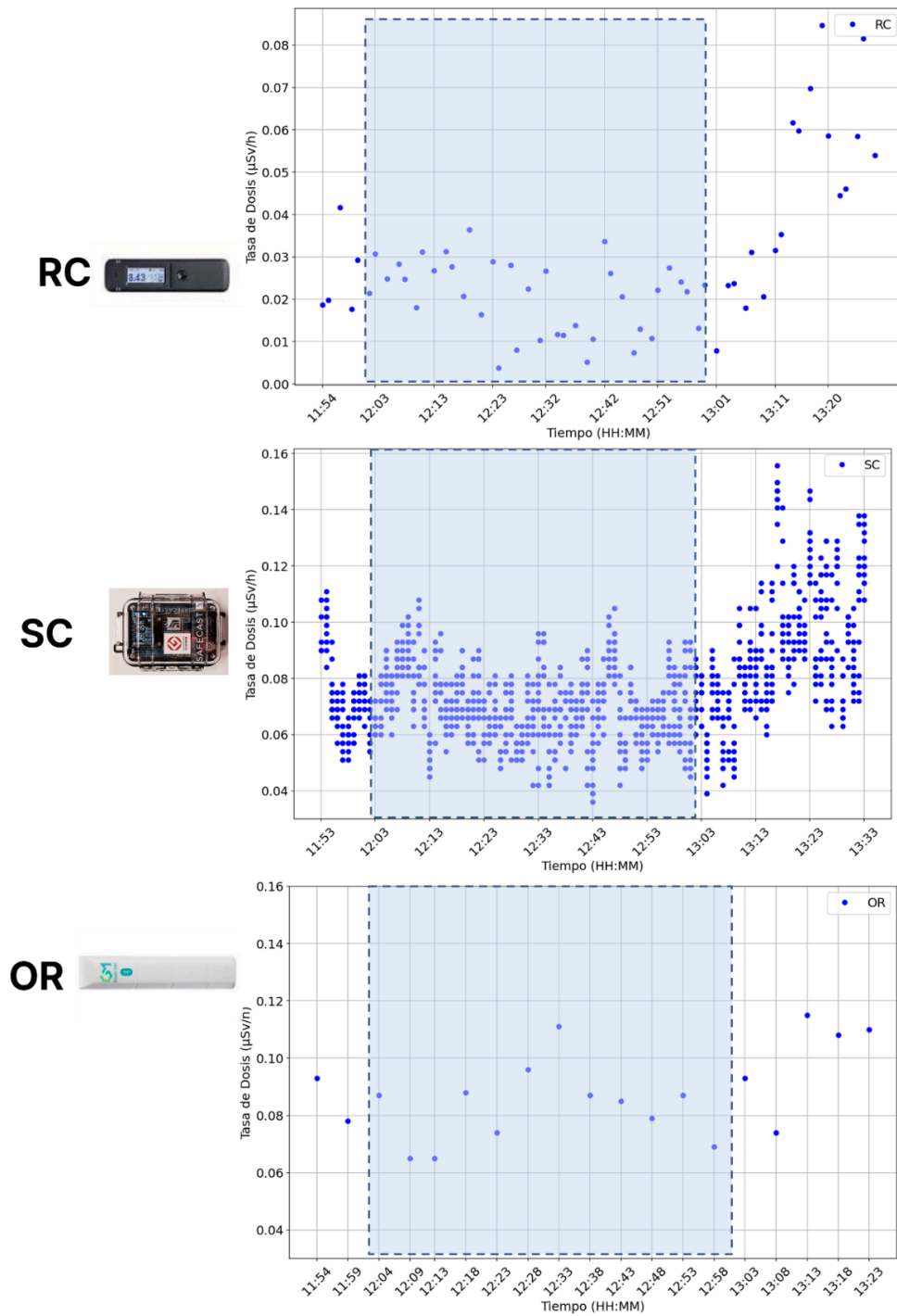


Figura 13. Valores de la tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) medidos por los tres equipos RC, SC y OR durante la Fase 5 de este estudio.



2.5 Conclusiones

El estudio de diversos detectores para su uso por parte de la ciudadanía ha mostrado que la selección del equipo es crucial para disponer de mediciones con un grado aceptable de fiabilidad. En este sentido, los detectores de muy bajo coste han mostrado una respuesta cuya fiabilidad no siempre alcanza los mínimos deseables para ser útiles en las plataformas ciudadanas.

Así, en el proceso de selección se ha realizado una criba de aquellos detectores que no eran útiles para los objetivos del proyecto como son los de baja sensibilidad, incluidos los teléfonos móviles. La posibilidad de utilizar el propio teléfono móvil como monitor para la detección de la radiación podría ser de utilidad únicamente en escenarios de emergencia y con dosis elevadas, por encima de unos 20 $\mu\text{Sv/h}$. No obstante, para el proyecto OpenRed en desarrollo no se ha visto viable su uso, ya que las campañas de medida que se llevarán a cabo se realizarán en condiciones de exposición a niveles de radiactividad bajos.

De los detectores que pasaron la criba, la respuesta de los equipos en general no se ve afectada por las condiciones de temperatura en el rango de 15 °C – 35 °C. En cuanto a la respuesta angular se ha apreciado que la geometría del detector y el diseño de la posición de la electrónica tiene influencia en la respuesta en función del ángulo de incidencia de la radiación gamma. En concreto, los equipos SafeCAst y Rium tienen un cierto grado de anisotropía por la geometría del detector que no presenta el equipo RadioCode.

El detector RadioCode tiene la capacidad de realizar espectrometría, lo que permite la identificación de los radionucleidos presentes en el ambiente. Este equipo ofrece unas prestaciones de alta calidad, a un precio razonable y la empresa suministradora ha prestado apoyo durante el transcurso de este proyecto.

Los equipos de tipo Geiger-Muller, como los utilizados en las redes OpenRadiation y SafeCast, han mostrado unas prestaciones inferiores al sistema Radiocode, a pesar de tener precios similares. En cuanto a los sistemas de espectrometría, se ha observado la reciente aparición en mercado de un nuevo dispositivo ([Measall KC761](#)) con buenas prestaciones, aunque con un precio superior al RadioCode. La tendencia actual parece apuntar hacia el uso de este tipo de detectores, que permiten la identificación de radionucleidos, al menos para niveles de tasa de dosis bajos y medios.



3. Análisis de los aspectos sociales y operacionales

3.1 Openred y la necesidad de este estudio

El proyecto Openred nace como una iniciativa que busca impulsar el desarrollo de una red ciudadana para la medición de la radiación gamma en España. Esta red tiene como objetivo fomentar la participación ciudadana con distintos niveles de involucramiento mediante el uso de detectores de bajo costo, que los participantes podrán adquirir o recibir en préstamo temporal para contribuciones puntuales. Para que la participación en todos los niveles sea significativa y genere los impactos esperados, principalmente promover una cultura de la protección radiológica entre los participantes, el proyecto se ha propuesto analizar la experiencia de proyectos y plataformas similares. Una revisión preliminar de experiencias similares a nivel global permitió identificar 4 proyectos que, por sus características, son de interés para los objetivos previstos de Openred. Ellos son: Open Radiation (Francia), Safecast (Japón), RAMESIS/SURO (República Checa) y SAIRA (Reino Unido).

Dichos proyectos fueron analizados comparativamente atendiendo tres aspectos: (i) La infraestructura tecnológica de los proyectos, incluyendo sus plataformas web y los protocolos de comunicación asociados a los detectores de radiación. (ii) Los retos técnicos, sociales, legales, económicos, operacionales y de otra índole en relación con estos proyectos, así como otras fuentes de literatura científica sobre iniciativas similares. (iii) Las tecnologías de bajo coste existentes para la medición de la radiación gamma, valorando diferentes dispositivos de medición y accesorios móviles (incluyendo las apps de control). Testeo del rendimiento y confiabilidad de los datos de dichas tecnologías en el laboratorio.

Este informe presenta los resultados asociados a los retos sociales y operacionales de los que trata el segundo aspecto. En particular se enfoca en la identificación de lecciones aprendidas en lo relacionado con el involucramiento de participantes (onboarding), el sostenimiento de la motivación y la participación (engagement) y los cambios generados en los participantes como resultado de su vinculación a redes ciudadanas para el monitoreo de la radiactividad. El resultado de la revisión de estas experiencias se espera fortalezca la incorporación de conocimientos de protección radiológica en la población mediante las herramientas de que dispone la ciencia ciudadana y así contribuya a la consecución de los impactos definidos en Openred.

3.2 Proyectos seleccionados para este estudio

Para la realización del análisis de los aspectos sociales y operacionales se realizó un análisis cualitativo de 5 entrevistas realizadas a los coordinadores de los proyectos Safecast, Open Radiation, SURO y SAIRA. También quisimos complementar este enfoque cualitativo con unas encuestas realizadas a los participantes de los proyectos. Los resultados de este análisis cuantitativo se encuentran en la sección 3.6 de este informe.



Cada uno de los proyectos seleccionados se desarrolla en un contexto específico, por lo que las motivaciones, barreras y estrategias para el fomento de la participación son diferentes en cada caso. Estas diferencias de contexto fueron tenidas en cuenta a la hora de seleccionar los casos para el análisis, pues consideramos relevante entender cómo cambian las diferentes variables con el contexto y si hay aspectos similares a pesar de estas diferencias. A continuación, se presenta un breve resumen de los proyectos seleccionados.

3.2.1 Safecast

Safecast es una iniciativa que nace tras la emergencia de la central nuclear de Fukushima en 2011 en respuesta a la necesidad de la población afectada de contar con mediciones detalladas, fiables y en tiempo real de radiación ambiental. Safecast se caracteriza dentro del conjunto de proyectos de referencia por ser aquél con una más clara dinámica bottom-Up. Al ser una iniciativa ciudadana, la estructura organizativa de quienes lideran el proyecto es muy orgánica: todas las personas vinculadas actualmente al proyecto son voluntarios y las tareas y responsabilidades son autoimpuestas. Por esta razón, no hay, al interior del proyecto, una nítida separación entre participantes y coordinadores, sino que se entiende que todos son participantes (voluntarios) con diferentes grados de implicación y permanencia -que pueden ir de unas horas a muchos años.

Por otro lado, Safecast no cuenta con una fuente de financiación estable, por lo que el sostenimiento económico depende de patrocinadores externos. Con el paso de los años, las condiciones iniciales que dieron lugar a la mayor motivación (la emergencia de Fukushima) para la participación, fueron cambiando. En la actualidad la zona sigue siendo un lugar importante de toma de datos, pero sin la urgencia y preocupación de los primeros años. En este sentido Safecast también ha tenido que reinventarse, tanto en sus estrategias para atraer participantes, como en el tipo de público y el tipo de datos que la gente demanda. Safecast desarrolla y distribuye detectores de diferentes datos ambientales de bajo costo que permiten a los voluntarios recopilar datos en tiempo real. La información recopilada se sube a una base de datos abierta, accesible a cualquier persona interesada en analizar la radiación ambiental. El proyecto ha mapeado millones de puntos de datos en todo el mundo, lo que permite un monitoreo más preciso de la exposición a la radiación. Por su larga trayectoria y alcance global Safecast ha sido referente y en algunos casos es socio de posteriores proyectos que han buscado la formación de redes de monitoreo comunitario de radiación, entre ellos los seleccionados en este informe.

3.2.2 SAIRA

El proyecto SAIRA es una iniciativa del Space Environment Group de la University of Surrey, en Inglaterra. Se trata de un proyecto con un enfoque fuertemente académico, y tiene como objetivo monitorear los niveles de radiación ionizante cósmica, en tiempo real,



y en altitudes que afectan principalmente a la aviación comercial. Aunque se enfoca en un contexto específico y en principio, apunta a las necesidades de información y monitoreo de la radiactividad de un grupo puntual de personas, es un muy buen ejemplo de cómo proporcionar datos valiosos tanto a la comunidad científica como al público en general.

Al ser un proyecto desarrollado desde una lógica más de “arriba hacia abajo”, su mayor reto ha sido el de conseguir participantes suficientemente motivados y comprometidos para la toma de datos de calidad y con la suficiente constancia y dedicación. La principal estrategia de vinculación de participantes que desarrolló SAIRA fue la promoción del proyecto en los círculos de la aviación comercial, contactando personal de la tripulación de diferentes aerolíneas, así como viajeros frecuentes.

SAIRA desarrolló sensores compactos y de bajo costo, capaces de detectar diferentes tipos de radiación ionizante. Los datos recopilados por los detectores SAIRA se almacenan en una base de datos centralizada administrada por la Universidad de Surrey que es sin embargo de acceso abierto al público y fundada en un enfoque de ciencia ciudadana.

En la actualidad los principales voluntarios de SAIRA son personas vinculadas con la academia y el campo de investigación de la radiación cósmica, pues son quienes tienen suficiente motivación para continuar con la participación a largo plazo.

3.2.3 Open Radiation

Se trata de una iniciativa promovida por el organismo estatal de seguridad nuclear de Francia (IRSN, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, ahora ASNR, Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection). El objetivo principal de Open Radiation es facilitar la medición y el monitoreo de la radiación ambiental por parte de los ciudadanos, permitiendo que cualquier persona participe en la recopilación y análisis de datos relacionados con la radiación en su entorno. Utiliza una aplicación para registrar mediciones de radiación utilizando diversos dosímetros, incluyendo opciones de bajo costo. Toda la información recopilada se almacena en una base de datos centralizada y está disponible públicamente, promoviendo la transparencia y el acceso a la información. Por su origen institucional, Open Radiation es el proyecto que más se asemeja en su estructura a Openred. Sin embargo, las particularidades de la geografía francesa y, sobre todo, las relaciones de sus habitantes con las centrales nucleares se diferencian del caso español, por lo que, si bien podemos aprender muchas cosas de este caso de estudio, es necesario adaptarlas.

Para empezar, conviene recordar que Francia ha apostado de manera más vigorosa por la energía nuclear que España. Francia es de hecho el segundo país con más reactores en el mundo, solo por detrás de Estados Unidos. Aproximadamente un 70% de la producción de energía del país se produce en centrales nucleares y cuenta con 56 reactores operativos. Esta diferencia con respecto al caso español es significativa, pues por su alto número de centrales nucleares Francia cuenta con una estructura institucional más robusta dentro



de la que se destaca el organismo de información y capacitación para la población, el ANCCLI (Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information). La labor del ANCCLI en las zonas aledañas a las centrales nucleares es un factor que ha incidido en la percepción del riesgo de los habitantes (se han generado cambios en aquellos que residen cerca de instalaciones nucleares a través de información y capacitación en comparación con aquellos alejados a las zonas de influencia). Para disminuir esta brecha informacional y de percepción del riesgo, el proyecto Open Radiation quiere hacer transparentes los datos sobre radiactividad en toda Francia, a la vez que acerca los temas relevantes a toda la población.

3.2.4 SURO

Finalmente, entrevistamos a dos personas vinculadas a la agencia de seguridad nacional de República Checa SURO. Dicha agencia no cuenta con un único proyecto bandera, sino que han ido desarrollando diferentes proyectos que vinculan a la ciudadanía desde diferentes perspectivas, algunas más sociales y de educación y otras más orientadas a la toma de datos o a públicos específicos con especial interés en emergencias por radiactividad.

Entre los proyectos más destacados de SURO en este ámbito están RAMESIS y CITISTRA. Es importante destacar que estos proyectos buscan un equilibrio entre la participación voluntaria y la selección de grupos específicos para diferentes objetivos de investigación. Adicionalmente, estos proyectos no solo vinculan participantes de República Checa sino también algunas misiones en Ucrania, Polonia y Eslovaquia. Un ejemplo de estos es el proyecto CITISTRA se está llevando a cabo una gran encuesta con enfoque sociológico que busca evaluar el impacto de este tipo de monitoreo en los participantes de diferentes países.

3.3 Metodología

Para la identificación de lecciones aprendidas, diferencias y similitudes entre los proyectos seleccionados se realizó un análisis temático a partir de entrevistas semiestructuradas siguiendo los siguientes pasos:

- **Preparación de la entrevista semiestructurada:** se elaboró una guía de entrevista semiestructurada con identificación de categorías iniciales y definición de preguntas orientadoras que respondieran a los temas de interés identificados: incorporación (onboarding), el sostenimiento de la participación (engagement), barreras y los cambios generados en los participantes.
- **Realización de las entrevistas:** se llevaron a cabo entrevistas con representantes de los cuatro proyectos. Realizamos un total de 5 entrevistas de aproximadamente una hora cada una.
- **Preparación de los datos:** se transcribieron los audios y se volcaron en documentos de texto.



- **Familiarización con los datos:** las transcripciones se leyeron varias veces para tomar notas iniciales sobre ideas recurrentes o temas interesantes. Como resultados se definieron códigos para organizar los datos obtenidos.
- **Identificación de categorías y temas:** de acuerdo con las categorías iniciales definidas para la entrevista y de acuerdo con los resultados obtenidos, se clasificaron tres grandes temas de análisis en los que identificamos las diferencias y similitudes entre los diferentes proyectos. Adicionalmente se realizó una descripción de cada tema que se puede ver a continuación.
- **Análisis de similitudes y diferencias:** finalmente, se comparó entre los distintos proyectos cómo se manifiestan cada uno de los temas identificados (por ejemplo, proyectos iniciados en emergencias vs. iniciativas ciudadanas). Esto permitió encontrar patrones y contrastes para sacar conclusiones y lecciones aprendidas que puedan mejorar la participación en Openred.

Conceptualización de las categorías y subcategorías de análisis

Categoría	Subcategoría
Proceso de incorporación (recruitment/onboarding)	<ul style="list-style-type: none">★ Motivaciones para vincularse al proyecto★ Barreras para vincularse al proyecto★ Estrategias para disminuir las barreras★ Estrategias para convertir las barreras en motivaciones★ Estrategias para encontrar nuevos participantes
Sostenimiento de la participación (engagement)	<ul style="list-style-type: none">★ Motivaciones para seguir participando★ Barreras para una participación a largo plazo★ Estrategias para disminuir las barreras★ Estrategias para conservar el interés
Resultados y cambios promovidos	<ul style="list-style-type: none">★ En protección radiológica★ Educativos★ Sensibilización

3.4 Hallazgos y análisis

El análisis que presentamos a continuación está ordenado en varias capas: la primera presenta las categorías y subcategorías definidas para el análisis cualitativo, la segunda separa en un primer conjunto los aspectos comunes a todos o la mayoría de proyectos analizados y luego presenta aspectos diferenciadores que consideramos relevante tener en cuenta, finalmente la tercera capa ordena dentro de cada subcategoría, primero, los aspectos extrínsecos seguidos de los intrínsecos. Esto permite una visualización más clara y sistemática de toda la información.



3.4.1 Proceso de incorporación (recruitment/onboarding)

3.4.1.1 Motivaciones para vincularse al proyecto

Al indagar por las motivaciones en el proceso de incorporación de voluntarios a los proyectos nos enfocamos en aquellos elementos que de manera natural favorecieron la vinculación de los participantes. Los factores comunes encontrados en la incorporación de voluntarios a los diferentes proyectos fueron:

Preocupación por el medio ambiente: Más allá de la radiación, existe un interés en la obtención de datos ambientales más amplios. El cambio climático y la contaminación son temas que preocupan a muchas personas, en general estos proyectos que incluyen medidas ambientales les ofrecen una manera de contribuir a la comprensión y la acción en estos temas.

Voluntariado y ayuda a la comunidad: Muchos participantes se sienten motivados por el deseo de contribuir a la ciencia y al bienestar de la comunidad. Los voluntarios dedican su tiempo y esfuerzo a recopilar datos que ayudan a comprender mejor los niveles de radiación y sus posibles impactos.

Interés académico y profesional: Investigadores y estudiantes de posgrado se unen a Safecast para obtener datos para sus tesis y trabajos. La credibilidad de Safecast como plataforma de datos ambientales es un atractivo importante.

Interés por la tecnología y el hardware: Safecast, al ser un proyecto pionero, identificó un fuerte interés por la tecnología y el "Do It Yourself" en la incorporación de voluntarios. Muchos de los que se unieron en la primera fase estaban motivados por el aspecto técnico de Safecast, deseando aprender a construir dispositivos como el "bGeigie" y el "bGeigie Zen". Este espíritu "maker" o "hacker" los lleva a involucrarse en la creación y el desarrollo de la tecnología utilizada en el proyecto. Siguiendo esta línea de motivaciones los proyectos Open Radiation y CheckRad (de SURO) también incorporan este aspecto "maker" que ha dado muy buenos resultados.

Deseo de control y seguridad: En situaciones de incertidumbre, como la guerra en Ucrania o el accidente de Fukushima, la gente busca herramientas que les permitan verificar la información oficial y evaluar su propia seguridad. Los detectores les dan la posibilidad de controlar su entorno y tomar decisiones informadas. Este factor se relaciona con la confianza institucional y el acceso a datos oficiales en dichos temas.

Curiosidad y beneficio personal: Especialmente para los jóvenes, la posibilidad de usar un detector y realizar mediciones se percibe como una actividad divertida que satisface la curiosidad. Además, muchos participantes se sienten atraídos por proyectos que les brinden información útil sobre su entorno. Por ejemplo, en el programa Radón, los participantes aprenden sobre los niveles de radón en sus hogares y reciben consejos para mitigar cualquier riesgo.



Por otro lado, las principales diferencias respecto a las motivaciones en la incorporación se observaron en los proyectos SAIRA y Safecast. En Safecast aparecen como muy relevantes dos motivaciones particulares que no se encontraron en los demás proyectos:

Experiencia personal con un desastre: al ser Safecast el único proyecto que se enmarca en un desastre de la magnitud de Fukushima, se encuentra esta diferencia que fue un detonante fundamental para la participación inicial de muchos ciudadanos. Algunas personas se involucraron con Safecast tras haber experimentado desastres naturales. En estos casos, la motivación surge de la necesidad de entender mejor el impacto de estos eventos y de empoderar a sus comunidades a través de la información.

Desconfianza en la información oficial: muchos voluntarios, especialmente los jóvenes, desconfiaban de los datos proporcionados por gobiernos o empresas en el marco de la tragedia de Fukushima. Esto los llevó a buscar fuentes de información más independientes y verificables, como la que ofrecía Safecast a través de la ciencia ciudadana.

Por su parte, en SAIRA también encontramos dos motivaciones diferenciales dentro del conjunto más o menos homogéneo de motivaciones generales:

Conexión con la aviación: Para algunos participantes, especialmente aquellos relacionados con la aviación (como pilotos o tripulantes), la motivación era conocer más sobre los riesgos de la radiación en su entorno laboral. El proyecto les permitía obtener información relevante sobre su exposición a la radiación en vuelo.

Razones personales y de familiaridad con el investigador principal: al principio, la mayoría de los voluntarios eran colegas cercanos del investigador o personas de su entorno familiar y social. Su participación inicial se debió más a su relación con el investigador que a un interés genuino en la temática de la radiación. Más adelante, el proyecto, a través del boca a boca y diferentes eventos académicos y educativos, terminó captando personas con motivaciones más variadas.

3.4.1.2 Barreras para vincularse al proyecto

Del mismo modo que en el análisis de las motivaciones, al indagar por las barreras para el proceso de incorporación de voluntarios, identificamos un conjunto de barreras que impiden el acercamiento de los participantes al proyecto. Las barreras comunes encontradas en la incorporación de voluntarios a los diferentes proyectos fueron:

Desconocimiento de los riesgos nucleares: En general la falta de conocimiento de potenciales riesgos fue identificada como una barrera para la participación. En Francia por ejemplo, muchas personas, especialmente las que viven cerca de las plantas nucleares, no perciben un riesgo significativo y por lo tanto no se sienten motivadas a participar. En general se percibe que cuando hay un desconocimiento y preocupación general sobre los riesgos nucleares se presenta un obstáculo importante. Este argumento se funda en la percepción de riesgo como motivador (al menos inicial) y trae consigo el



resto de transformar emociones “negativas” hacia otras más positivas (como en efecto lo hicieron Safecast y Openred al transformar el riesgo en curiosidad o proactividad social). De manera similar potenciales participantes pueden estar más preocupados por otros riesgos, como las inundaciones, que por los riesgos nucleares, (un factor común al caso Español). La multiplicidad de mensajes y preocupaciones que compiten entre ellas en el día a día de la ciudadanía, es una barrera a ser superada. La conceptualización de la participación en redes comunitarias por motivos hedónicos o prosociales y no en emociones negativas es una posible manera de eliminar dicha barrera.

Percepciones erróneas y miedos infundados: existe una visión fantasiosa de los riesgos nucleares, como la idea de que un accidente nuclear es similar a una bomba atómica, lo que genera miedo y desconfianza. Estas ideas preconcebidas dificultan la comunicación y el interés por la medición en tanto se percibe la participación en mediciones de radiación como una actividad riesgosa. Si bien este tipo de proyectos apuntan a mostrar cómo la radiación hace parte de la vida diaria, las percepciones erróneas son una de las principales barreras. Cambiar esta percepción o aprovecharla para cambiar las motivaciones y la curiosidad de la comunidad frente al tema es uno de los elementos comunicacionales importantes a la hora de promover la participación.

Falta de sensación de beneficio personal: las personas están más interesadas en participar si sienten que obtendrán algún beneficio de ello, como información sobre la seguridad de su entorno o la oportunidad de aprender algo nuevo. La falta de comunicación o capacidad de identificar la colaboración impacto de la participación propia es una barrera que afecta la participación activa y sostenible en los proyectos.

En este caso también pudimos identificar algunas barreras diferenciadas en los proyectos SAIRA y Safecast:

Safecast es el único entre todos los proyectos que usa dispositivos diseñados y/o ensamblados por los participantes. Al tener que comprar y ensamblar los dispositivos se fomenta la apropiación de los mismos y se cimienta la participación a largo plazo de los participantes. Esta estrategia, sin embargo, se funda en potenciales participantes con alta motivación intrínseca. Esto puede ser una barrera de acceso en otros proyectos que no tienen un grupo altamente motivado o que buscan fomentar el interés en vez de hacer uso de él. El mismo Safecast sufrió cambios en las motivaciones al disminuir los riesgos de radiactividad con el paso de los años, y vieron necesario cambiar algunos puntos de este enfoque. La aproximación de Safecast genera una dificultad extra en tanto si un participante se retira, lo hace con su dispositivo, disminuyendo el número efectivo de medidores y medidas. En palabras de Rob: “coming and going people is also sometimes very difficult because um if somebody who makes the system documents it the way they think it's proper and then other people have to replicate it maybe works if the person is there but if the person is not there anymore still needs to be operating and this is one of the main issues we have after 10 years”.



En el caso de SAIRA el costo de los instrumentos emergió como una barrera particular para el gestor del proyecto. A diferencia de Safecast los instrumentos no se vendían a los participantes, sólo se prestaban. Los instrumentos tenían un valor inicial de entre 4.000 y 5.000 euros cada uno. Luego, en versiones posteriores, oscilaron entre 10.000 y 20.000 euros. El alto costo limitó la cantidad de instrumentos disponibles y dificultó su distribución a un mayor número de voluntarios. Este esquema implicaba también retos logísticos para la distribución y retorno de los medidores a los gestores del proyecto.

3.4.1.3 Estrategias para disminuir las barreras

Dentro de las estrategias utilizadas por los diferentes proyectos para despertar la motivación de nuevos participantes, se puede identificar que el foco principal está puesto en las barreras denominadas: “desconocimiento de los riesgos nucleares” y percepciones erróneas y miedos infundados”. En ese sentido, las estrategias están orientadas a la sensibilización y la difusión de información, de modo que estas barreras puedan ser mitigadas. Dentro de las estrategias comunes están:

Colaboración con instituciones: la mayoría de los proyectos han encontrado éxito al involucrar a instituciones con un entendimiento estructural del riesgo, como comités locales de información (CLIs), bomberos y organizaciones educativas. Este enfoque ha permitido la integración del monitoreo de radiación en estructuras ya establecidas de educación y de gestión de riesgos.

Uso de eventos y festivales: algunos proyectos participan en festivales de ciencia y eventos de concienciación pública, así como eventos académicos o actividades orientadas a acercar la ciencia a la sociedad. Todos coinciden que las personas que se acercan a estos eventos tienen mejor predisposición a participar y a motivarse con las actividades de los proyectos.

Incorporación a través de grupos de confianza: algunos proyectos han colaborado con grupos semi-organizados o instituciones gubernamentales, como bomberos voluntarios, organizaciones sociales y servicios de emergencia. Este enfoque busca aprovechar la confianza que estas entidades generan en la comunidad, lo que facilita la ampliación del número de interesados en el proyecto.

En el caso de las barreras, safecast presenta algunas particularidades como la barrera en la compra de los dispositivos y la participación a largo plazo que esto implica. De ese modo, en la medida que la emergencia de Fukushima fue quedando atrás en el tiempo, decidieron flexibilizar su estrategia respecto a los dispositivos y promover misiones en las que los dispositivos se prestan. Esta flexibilidad y adaptación hace que Safecast funcione de manera “ágil”, de modo que los voluntarios se unen según la necesidad. Esto significa que los voluntarios pueden participar de manera esporádica o continua según su disponibilidad e interés. Así mismo, como estrategia de flexibilización han orientado sus misiones en colaboración con universidades y escuelas. Se ofrece a las escuelas la



opción de integrar Safecast en su currículo, pero en muchos casos se ofrecen excursiones o talleres como alternativa.

3.4.1.4 Estrategias para convertir las barreras en motivaciones

Concienciación y educación: Contra las barreras del desconocimiento y las percepciones erróneas, los diferentes gestores han comprobado que, una vez que los participantes conocen mejor los propósitos de los respectivos proyectos de medición y la importancia de medir la radiación ambiental, se mostraron más dispuestos a colaborar. Muchos no eran conscientes de la variedad de fuentes de radiactividad natural que existen en sus entornos y la educación sobre el tema fue clave para generar interés y compromiso. En todos los proyectos las actividades de formación fueron entendidas como estrategias exitosas de engagement.

Enfoque suave: también algunos proyectos manifiestan usar un enfoque que se adapta a las necesidades e intereses de los participantes. Por ejemplo, al contactar con estudiantes (que vienen condicionados por la institución y no por un interés genuino), se les pregunta sobre sus intereses personales y sus experiencias relacionadas con la ciencia ciudadana, los datos abiertos, o los desastres. Esto ayuda a adaptar las campañas a sus propios intereses para intentar despertar una motivación genuina en los participantes cautivos.

Enfoque oportunista y no estratégico: también como un forma de captar la atención del público que en principio no se siente atraído por este tipo de proyectos, o que no se decide a participar, algunos proyectos aplican un enfoque oportunista, en lugar de estratégico. Cuando se encuentra a alguien dudoso o menos interesado en medir la radioactividad, se intenta dialogar con esa persona para sugerir posibles usos o beneficios personales y comunitarios de la participación, luego se deja que decidan si se involucran o no.

Una estrategia diferenciadora para convertir las barreras en motivaciones viene planteada por el proyecto Open Radiation, quienes proponen **convertir el miedo en interés científico**. En sus observaciones han visto que, las personas más alejadas de las zonas donde hay potenciales riesgos de radiación y que, por este motivo pueden estar menos informadas, muestran como barrera inicial para participar en el proyecto, el miedo a la radiación. Sin embargo, el objetivo es transformar ese miedo en un interés científico por la medición y la comprensión del fenómeno. La clave es deconstruir ideas erróneas sobre los riesgos nucleares.

3.4.1.5 Estrategias para encontrar nuevos participantes

Incorporación por contacto personal y boca a boca: en diversos proyectos, la estrategia más efectiva ha sido la recomendación de participantes previos. En muchos casos los participantes iniciales son quienes ayudan a reclutar colegas cercanos y familiares, quienes posteriormente difundieron la iniciativa.



Búsqueda de voluntarios en entornos educativos: la participación de estudiantes se ha promovido mediante excursiones, talleres y la integración de actividades de medición en programas educativos. Se han implementado programas en escuelas secundarias, donde los estudiantes aprenden sobre radiación y utilizan detectores en experimentos prácticos.

Convocatorias abiertas en línea: algunos proyectos han permitido que cualquier persona interesada se registre a través de su sitio web para solicitar dispositivos de medición. Este método sigue activo y facilita una participación más accesible.

Como estrategia diferencial, SURO ha implementado en uno de sus proyectos un enfoque sociológico y demográfico. Se utilizaron bases de datos de instituciones sociológicas para reclutar voluntarios basados en criterios como la edad, el género y el nivel educativo con el fin de sondear las preocupaciones medioambientales de estos grupos, así como la percepción pública de la radiación.

3.4.2 Sostenimiento de la participación (engagement)

3.4.2.1 Motivaciones para seguir participando

Experiencias prácticas y aprendizaje activo: todos los proyectos en su conjunto han implementado excursiones de campo y talleres educativos donde los voluntarios pueden realizar mediciones y aprender sobre la importancia de sus contribuciones. Este contacto directo con los expertos y la oportunidad de aprender haciendo ha demostrado una mejora significativa en el sostenimiento de la participación.

Reconocimiento y divulgación de resultados: Un factor común que se identificó como relacionado con una participación activa y sostenida fue que los participantes recibieran retroalimentación sobre los datos que habían recolectado. Ver los resultados de sus mediciones, aunque fueran pequeños, hacía que se sintieran valorados y parte del proyecto. La visualización de los datos propios en plataformas o sitios web fueron identificados como los medios más comunes utilizados para esto. Así mismo socializar con los participantes a través de newsletters, comunicados de prensa o notas de prensa asociadas al proyecto fue señalado como un factor motivador.

Gamificación: los proyectos que implementaron formas de “gamificación” de campañas o misiones (ej. Jugar a la búsqueda del tesoro, cumplir metas y ganar reconocimientos) aunque fueron virtuales, generaron resultados importantes en la participación sostenida, en particular con grupo de población joven.

Sentido de comunidad y pertenencia: Para algunos proyectos como Safecast es fácil ofrecer a sus voluntarios un sentido de comunidad y pertenencia, porque la naturaleza del proyecto les permite conectarlos con personas de todo el mundo que comparten sus intereses y preocupaciones. Sin embargo, es una constante de los demás proyectos el diseñar estrategias que despierten en los voluntarios este sentido de comunidad. Entre



las acciones más comunes está: la interacción continuada a través de canales en línea, los eventos presenciales regulares, incentivar el apoyo mutuo entre voluntarios y brindar oportunidades de aprendizaje y desarrollo personal. Todas estas acciones fomentan el sentido de comunidad.

3.4.2.2 Barreras para una participación a largo plazo

Costo de los instrumentos de medición: el acceso a los medidores es en general un elemento que todas las iniciativas analizadas tuvo en cuenta en el desarrollo de sus actividades de onboarding y engagement. En general los proyectos deciden prestar y/o vender los medidores. En el caso de ser prestados es necesario organizar operativamente la distribución, recolección y mantenimiento de los mismos. En el caso de su venta, se puede generar una barrera económica. El costo de los detectores puede ser un obstáculo para algunas personas, especialmente cuando no perciben una necesidad urgente de medir la radiación. El medidor sin embargo es un factor importante que aumenta la agencia de los participantes y promueve de manera práctica y material el aprendizaje y la generación de capacidades. La claridad en su uso, confianza en las mediciones que provee, y agilidad en su distribución/recolección son factores claves a la hora de eliminar barreras asociadas a ellos.

Sensación de seguridad (distanciamiento con posibles eventos de emergencia): aunque esta barrera fue inicialmente señalada por Safecast, los demás proyectos coinciden en que mantener la motivación de los participantes a largo plazo es un desafío, especialmente cuando no hay una situación de emergencia o un problema radiológico evidente. En el caso de Safecast, es más evidente que la distancia temporal con el desastre de Fukushima hace que muchos de los jóvenes japoneses ya no tengan una conexión directa con él, lo que requiere crear empatía a través de experiencias de campo y contacto con los afectados. Los demás proyectos reconocen que es necesario mantener el interés de los participantes mediante una respuesta rápida, la actividad del sitio web, eventos y la interacción continua.

Preocupaciones sobre la privacidad: algunos usuarios temen que al proporcionar los resultados del monitoreo junto con las coordenadas del sitio, la fecha y la hora, se sientan vigilados por una entidad tipo "Gran Hermano", lo que les disuade de participar. Para evitar esto, se les proporciona una herramienta que les permite eliminar fácilmente partes de sus recorridos de monitoreo que no desean que se hagan públicos.

Falta de disponibilidad de tiempo: por la naturaleza de estos proyectos, los participantes son voluntarios y sus responsabilidades personales, familiares y laborales pueden limitar el tiempo que pueden dedicar al proyecto. Esto se convierte en una barrera cuando las necesidades de las campañas de medición requieren participación a largo plazo.

También por las características propias de Safecast, este factor del tiempo que los voluntarios pueden dedicar al proyecto lo afecta particularmente, pues el proyecto es



gestionado y coordinado en su totalidad por voluntarios. Esta característica hace que surja un problema adicional que es la **fluctuación constante de participantes**, pues la naturaleza voluntaria del proyecto implica que la participación puede ser inestable. Las personas pueden unirse o abandonar el proyecto en función de sus circunstancias y motivación, pero la fluctuación de voluntarios afecta la continuidad de las tareas y en muchas ocasiones, el conocimiento y la información disponible para la operatividad.

3.4.2.3 Estrategias para disminuir las barreras de participación a largo plazo

Flexibilidad y adaptación: algunos proyectos operan con una estructura flexible, permitiendo que los voluntarios participen de manera esporádica o continua según su disponibilidad. En este sentido, algunos proyectos ofrecen la posibilidad de hacer prácticas o estancias a estudiantes de diferentes niveles, con esto consiguen vincular participantes a largo plazo o con una participación más significativa.

Llamados a la acción y seguimiento: al final de las actividades, algunos proyectos fomentan la continuidad de la participación a través de encuestas, informes voluntarios y la integración en comunidades en línea (como Slack en el caso de Safecast) o la interacción directa con los participantes. Esta ha demostrado ser la forma más efectiva de generar confianza y reducir miedos infundados sobre la radiación. Aunque las redes sociales son útiles para mantener la comunidad activa, los diferentes proyectos destacan que el contacto personal es más efectivo para fomentar el interés científico.

3.4.2.4 Estrategias para mantener el interés

Muchas de las estrategias para conservar la participación de los voluntarios a largo plazo se enmarcan dentro de las estrategias para disminuir las barreras. Sin embargo hay algunas líneas de actuación que se pueden aplicar a lo largo del proyecto y que facilitan el sostenimiento de los participantes son:

- **Comunicación:** Mantener una comunicación fluida y constante con los participantes en todo momento. Responder a los mensajes de contacto en menos de 24 horas. Mantenerlos informados de los avances o cambios del proyecto.
- **Web activa:** Dado que para los participantes es importante el reconocimiento y el feedback de sus datos, mantener el sitio web activo con noticias semanales y con datos actualizados es un buen incentivo a la participación.
- **Días del participante:** algunos de los proyectos organizan eventos anuales para los participantes. De este modo favorecen la comunicación cara a cara, profundizan en actividades académicas y los participantes pueden ver que sus aportes son valiosos y reconocidos. Así mismo en estos eventos es importante explicar y discutir las mediciones subidas en la web.
- **Clasificación de contribuyentes:** Finalmente, puede ser motivador clasificar a los contribuyentes según su nivel de participación, tal y como se ha comentado antes con las estrategias de gamificación.



3.4.3 Resultados y cambios promovidos

El objetivo de este apartado de la entrevista fue recopilar información sobre la orientación y los objetivos de los diferentes proyectos en cuanto al impacto social y comportamental que buscaban. Se hizo énfasis en 4 factores principalmente: conocimientos, actitudes, prácticas (como comportamientos de protección) y valores. También se indagó por posibles mediciones que hubieran hecho estos proyectos de los cambios buscados. Sin embargo, ninguno de los entrevistados tuvo datos disponibles sobre cuál ha sido el impacto de sus proyectos respecto a estos cambios generados. El proyecto CITISTRA está enfocado a la recolección de este tipo de información, pero aún no cuenta con resultados. Los demás proyectos tienen una percepción sobre su impacto, pero no deja de ser subjetiva o especulativa. La información presentada a continuación se centrará entonces en los objetivos propuestos por los proyectos más que en los cambios reales generados.

Como complemento a este análisis, hemos planteado una encuesta que pretende obtener, de parte de los participantes, esta información sobre el impacto que ha tenido su implicación en el proyecto en los factores antes nombrados.

3.4.3.1 En protección radiológica

Mayor conciencia del riesgo: el objetivo principal de los proyectos sobre medición ciudadana de la radiación (especialmente los impulsados por las autoridades de seguridad nuclear), es buscar que las personas tengan una percepción más realista y objetiva sobre los riesgos nucleares, conociendo los niveles de radiación en su entorno. Se busca que esta percepción sea basada en datos y no en ideas erróneas.

Conocimiento sobre fuentes de radiación: Al participar en estos proyectos las personas pueden descubrir fuentes de radiación natural o artificial en su entorno, como rocas con alto contenido de torio o zonas contaminadas por la minería. Esto les permite entender mejor dónde y cómo se manifiesta la radiación.

Responsabilidad ciudadana: El proyecto fomenta la responsabilidad individual y colectiva sobre la medición y la gestión de los riesgos radiológicos. Se busca que los ciudadanos se involucren de forma activa en la protección de su salud y su entorno.

3.4.3.2 Educativos

Conocimiento sobre la radiación: Muchos participantes no eran conscientes de que existe una radiación natural o, por ejemplo, para el caso de Safecast, que la exposición a la radiación aumenta significativamente durante los vuelos. Participar en los diferentes proyectos les permitió aprender sobre estos fenómenos naturales y comprender que la exposición a la radiación puede variar de un lugar a otro incluso en entornos naturales.

Comprensión de la medición: en los distintos proyectos se busca que los participantes entiendan cómo funcionan los detectores de radiación, la incertidumbre en las mediciones, y cómo interpretar los datos obtenidos. A través de talleres y formación presencial, se les enseña a utilizar los detectores, realizar mediciones y comprender los resultados.



Uso de la tecnología: estos proyectos promueven el uso de la tecnología para la medición de radiación, lo que puede aumentar la alfabetización científica y tecnológica de los participantes. La posibilidad de construir sus propios detectores también fomenta este aprendizaje.

3.4.3.3 Actitudes

Deconstrucción de ideas erróneas: los distintos proyectos coinciden en querer desmontar las ideas erróneas y fantasiosas sobre los riesgos nucleares (como la idea de que un accidente nuclear es similar a una bomba atómica). Se busca reemplazar estas ideas por una comprensión más precisa y científica de los fenómenos radiológicos.

Reducción de la desconfianza: al participar en la medición y la verificación de los datos, las personas pueden desarrollar mayor confianza en la información sobre radiación y menor dependencia de las fuentes oficiales. Los proyectos buscan promover una actitud crítica y reflexiva frente a los riesgos radiológicos.

Mayor conciencia de la importancia de la información: Los voluntarios comprendieron la importancia de verificar y validar los datos antes de difundirlos al público, debido a la sensibilidad del tema de la radiación. Esta experiencia les hizo valorar la información correcta y la comunicación responsable.

3.4.3.4 Valores

Valoración de la ciencia: Los participantes, al involucrarse en los proyectos, desarrollaron una mayor valoración por la ciencia y la investigación. La sensación de contribuir al conocimiento científico y de formar parte de un proyecto real fue un factor motivador.

Transparencia y apertura: estos proyectos se basan en la apertura de datos y la transparencia en la información. Esto fomenta la confianza y la participación en un entorno donde todos tienen acceso a la información.

Interés por el bien común: El proyecto busca despertar un interés por el bien común, a través de la medición y la mejora del entorno. Se busca que los participantes actúen con conciencia y compromiso con la comunidad.

3.5 Predominancia de las subcategorías en los proyectos analizados

Proyecto	Motivaciones	Barreras	Estrategias
Open Radiation	<ul style="list-style-type: none"> ★ Transformar el miedo en interés científico. ★ Interés por la tecnología y utilidad de los datos. ★ Educación y sentido de comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Falta de conciencia sobre riesgos nucleares. ★ Percepciones erróneas sobre la radiación. 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Enfoque oportunista ★ Colaboración con instituciones. ★ Eventos científicos. ★ Educación en escuelas.



		<ul style="list-style-type: none">★ Dificultades para atraer al público general.	
Safecast	<ul style="list-style-type: none">★ Desconfianza en la información oficial.★ Deseo de control sobre los datos ambientales.★ Interés académico.★ Sentido de comunidad.	<ul style="list-style-type: none">★ Limitaciones financieras.★ Disponibilidad de tiempo.★ Fluctuación de participantes.★ Falta de interés en la radiación.	<ul style="list-style-type: none">★ Talleres locales.★ Plataformas de comunicación online.★ Colaboración con universidades.★ Experiencias prácticas.
SAIRA	<ul style="list-style-type: none">★ Interés personal en la investigación.★ Educación y concienciación sobre la radiación en vuelos.★ Contribución a la ciencia.	<ul style="list-style-type: none">★ Costo de los instrumentos.★ Miedo a controles de seguridad en aeropuertos.★ Dificultades técnicas de los dispositivos.	<ul style="list-style-type: none">★ Boca a boca.★ Educación previa.★ Demostración de resultados.★ Comunicación por redes sociales y correos electrónicos (menos efectiva).
SURO	<ul style="list-style-type: none">★ Curiosidad★ Beneficio personal★ Deseo de control y seguridad★ Voluntariado y ayuda a la comunidad★ Sentido de aventura.	<ul style="list-style-type: none">★ Diferencias en la percepción del riesgo según el contexto★ Menor respuesta del público en ciertas regiones.	<ul style="list-style-type: none">★ Reclutamiento por web.★ Enfoque sociológico.★ Colaboración con grupos de confianza.★ Participación en escuelas.



3.6 Análisis cuantitativo: informe de resultados y reflexión

3.6.1 Contexto y limitaciones

El análisis cuantitativo se concibió como una herramienta complementaria, con la pretensión de contrastar y consolidar la información cualitativa. Las preguntas planteadas (véase anexo III) surgen como resultado del análisis cuantitativo y se corresponden con las principales categorías que emergieron de las entrevistas. Por esa razón se propuso como público objetivo para esta encuesta a los participantes y voluntarios de los proyectos seleccionados. Sin embargo, se enfrentaron tres desafíos críticos:

- **Dependencia de terceros:** La distribución de la encuesta estuvo fuera de nuestro control al no tener acceso directo a bases de datos de otros proyectos.
- **Saturación de encuestas:** Coincidió con el estudio social del proyecto CITISTRA, generando posible fatiga en los voluntarios (evidenciado por la comunicación del coordinador de Open Radiation).
- **Barrera idiomática:** Aunque se mitigó con 6 versiones lingüísticas (inglés, francés, checo, polaco, ucraniano, japonés), la dispersión geográfica pudo afectar la participación.

3.6.2 Resultados Obtenidos

El total de respuestas viables fue de 10, distribuidas así:

- Safecast: 3
- OpenRadiation: 1
- SURO (RAMESIS/Žhavá Místa): 5
- SAIRA: 1

Limitación estadística: La muestra no es representativa por proyecto, pero sirve como piloto para validar el instrumento.

3.6.3 Lecciones Aprendidas y Valor Añadido

3.6.3.1 Pilotaje exitoso

Validación técnica: Las preguntas se comprendieron bien (sin comentarios críticos en abiertas), los datos permitieron generar gráficas coherentes y posibilitan el análisis multivariado que se tenía planeado.

Optimización futura: Se analizará la posibilidad de simplificar algunas preguntas técnicas sobre motivaciones y barreras de participación de acuerdo a los diferentes grupos de público objetivo identificados.



3.6.3.2 Claves para futuras implementaciones

Timing estratégico: Entendemos la importancia de coordinar con las tareas de otros proyectos para evitar saturación de los participantes.

Vinculación motivacional: Es fundamental aprovechar los momentos de máxima vinculación de los participantes en el proyecto para aumentar la cantidad de encuestas respondidas (ej. después de una campaña, taller, hackathon, o actividad relacionada con el proyecto).

Incentivos no monetarios: Como un complemento a la vinculación motivacional, se puede ofrecer acceso a ciertas actividades, a algunos resultados o certificados de participación, esto mejora la motivación.

3.6.3.3 Valor de los resultados para Openred

La encuesta, aunque con respuestas limitadas, nos permite identificar públicos clave, como que los 10 respondentes son perfiles comprometidos y pueden servir de base para el engagement de otros participantes. También nos permite mayor claridad a la hora de diseñar estrategias, como por ejemplo, priorizar la colaboración con SURO que es el proyecto con mayor tasa de respuesta. Finalmente, este pilotaje nos sirve para trazar una línea base que nos facilite medir impactos futuros del proyecto en motivación y habilidades de los participantes.

3.6.4 Recomendaciones Estratégicas

Basados en estos resultados y reflexiones resulta relevante profundizar en el análisis cualitativo, ya que las entrevistas sí arrojaron mucho material para el análisis. De este modo se pueden usar las 10 respuestas para extraer narrativas comunes en diálogo con los resultados ya obtenidos. También se puede hacer énfasis en la escalabilidad. De modo que se pueda adaptar la encuesta como herramienta estandarizada para comparar proyectos, primero a escala nacional y posteriormente a nivel europeo.

En resumen, este resultado, aunque insuficiente en términos estadísticos, nos sirvió como un primer paso de pilotaje de encuesta que posteriormente será adaptada para su distribución entre los participantes de Openred. De modo que sirva como caso de estudio para escalarlo a diferentes proyectos. En esta misma línea, una primera rotación de la encuesta nos permitió también sacar lecciones aprendidas. Entre ellas, la importancia de la comunicación de la encuesta y el momento de su distribución, teniendo en cuenta que el público objetivo tenga un máximo de motivación para responderla. La redundancia con otras encuestas también deberá tenerse en cuenta. En este sentido es muy positivo que la encuesta se convierta en un instrumento útil en el caso Openred para i) identificar públicos objetivos ii) diseñar estrategias de vinculación (engagement strategies) para esos grupos iii) tener, eventualmente, una línea de base que permita identificar los impactos de Openred entre sus participantes.



3.7 Conclusiones generales: lecciones aprendidas

Una vez analizados los diferentes proyectos, las motivaciones, las barreras y sus estrategias de participación se hace evidente que Openred se puede beneficiar de la experiencia que han tenido los otros proyectos, ajustando en su justa medida y de acuerdo al contexto, el enfoque promovido por ellos. Los dos focos principales de estos proyectos han sido la formación y el conocimiento, así como la capacidad para dar respuesta a una emergencia. De este modo la educación ha demostrado ser: un objetivo, un factor de motivación y al mismo tiempo una estrategia para disminuir las barreras en la participación.

Dado que la radiación en sí misma genera de manera usual desconfianza (al ser asociada con el riesgo), es interesante replicar en la narrativa del proyecto y sus acciones de involucramiento la transformación del miedo o desconfianza hacia la radiación en curiosidad. Este principio se podría traducir en estrategias que hagan del conocimiento fuente de empoderamiento y comprensión de fenómenos que de otra manera resultan incomprensibles.

Es un elemento común a todos los proyectos analizados el uso de actividades de formación como estrategia de engagement. En general las motivaciones intrínsecas y extrínsecas se ven fortalecidas por el aprendizaje continuo. Es relevante en consecuencia generar mecanismos para que los participantes se percaten del avance en su aprendizaje.

En vista de la relevancia del contexto para la adaptación de las estrategias de engagement y éxito en la participación, puede resultar útil la identificación de percepciones y actitudes de la radiación en España para identificar sus particularidades, identificar grupos poblacionales o áreas en las que priorizar el proyecto, y hacer uso de las diferentes motivaciones para el contexto Español. Las experiencias de Suro y Open Radiation en este sentido son de gran relevancia para Openred.

La experiencia de Safecast muestra que para una participación en el tiempo es importante contar con un grupo de cooperadores iniciales altamente motivados intrínsecamente y al mismo tiempo, brindar flexibilidad en la participación mientras se mantiene comunicación constante de los avances, logros o noticias del proyecto.

El análisis de las motivaciones permite identificar una serie de target groups preliminares asociados a: i) temas de radiación en específico (por ejemplo en zonas de influencia de instalaciones nucleares, de investigación radiológica, o en zonas naturales con alta radiación ambiental); ii) temas medio ambientales que pueden encontrar en el estudio de la radiación satisfacción a sus preocupaciones; iii) temas de tecnología, medición, hardware y open data; iv) temas de salud/prevención de riesgo asociadas a la radiación, especialmente relacionados con ámbitos profesionales específicos (protección civil,



atención médica entre otros); v) grupos académicos interesados en la promoción y construcción de conocimiento (p.e. escuelas, institutos, universidades).

De cara a una red de medición de la radiación ambiental desde una perspectiva institucional la búsqueda de sinergias con otras instituciones puede resultar relevante para Openred. Emulando a la experiencia francesa y checa, el vincular personal institucional cuyas funciones sean congruentes con los principios de Openred (p.e. bomberos, protección civil) puede de manera efectiva promover la captura y flujo de datos. Si bien las motivaciones de este tipo de participantes pueden resultar más exógenas, pueden ser útiles para mostrar resultados iniciales, fomentar la comunicación entre ciudadanía e instituciones públicas y la difusión de conocimiento de la radiación en los entes públicos. La vinculación de pilotos o tripulación en SAIRA es un ejemplo también en donde la motivación institucional es relevante. Es importante en estos casos balancear el esfuerzo requerido en la participación en relación con la menor motivación intrínseca (disminuir al mínimo las barreras).

Para evitar barreras asociadas a la desconfianza en el manejo de los datos y control de la vida privada por parte de instituciones asociadas al proyecto, es importante: i) dar a conocer de manera simple la manera en que usan y guardan los datos; ii) brindar oportunidades en campañas y misiones de captura de datos recomendaciones operacionales para limitar los datos que se comparten (ej. Solo capturar datos una vez se esté fuera de casa, habilitar opciones para no enviar ciertos datos que no son estrictamente necesarios); iii) contar con medidas para fortalecer la anonimización de los datos recolectados (ej. Borrar los primeros datos -metros- en caso de seguimiento de movimiento en aplicaciones).

En tanto Openred pretende utilizar un dispositivo para compra o préstamos a los participantes que es de uso comercial parece relevante disminuir barreras asociadas al acceso y gestión de los mismos.



4. Referencias

- Kržanović, N., Stanković K., Živanović, M., Đaletić, M., Ciraj-Bjelac, O., 2019: Development and testing of a low cost radiation protection instrument based on an energy compensated Geiger-Müller tube. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 164 p. 108358, doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108358>.
- McGregor, D., Shultis, J. K. (2020). *Radiation Detection: Concepts, Methods, and Devices*. Editorial CRC Press.
- Kessler, P., Behnke, B., Dombrowski, H., Neumaier, S., 2017: Characterization of detector systems based on CeBr₃, LaBr₃, SrI₂ and CdZnTe for the use as dosimeters. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 140, p. 309-313, doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.12.015>.
- Vargas, A. Ortega, M. Matarranz, M., 2004: Traceability of radon-222 activity concentration in the radon chamber at the Technical University of Catalonia (Spain). *Nuclear instruments & methods in physics research. Section A, Accelerators, spectrometers, detectors and associated equipment*, Vol. 526 num. 3 p. 501-509, doi: [10.1016/j.nima.2004.02.022](https://doi.org/10.1016/j.nima.2004.02.022)

5. Anexos

5.1 Anexo I

Valor Referencia	Equipo	M	DEM	u	Fcal	u(Fcal)	Equipo	M	DEM	u	Fcal	u(Fcal)
Fons	RC-102-003365	0,07	0,00	0,01			RC-102-003480	0,09	0,00	0,01		
3,00		2,80	0,06	0,10	1,07	0,02		2,90	0,07	0,10	1,03	0,02
2,00		1,85	0,05	0,09	1,08	0,03		2,00	0,05	0,10	1,00	0,03
1,00		0,93	0,02	0,04	1,08	0,03		1,03	0,02	0,05	0,97	0,02
0,50		0,51	0,01	0,03	0,98	0,02		0,49	0,01	0,03	1,02	0,03
10,00		9,70	0,31	0,60	1,03	0,03		10,20	0,24	0,50	0,98	0,02
100,00		98,00	1,58	3,00	1,02	0,02		101,00	1,16	2,00	0,99	0,01
800,00		791,00	4,21	8,00	1,01	0,01		900,00	5,95	10,00	0,89	0,01
Fons	RIUMGM BLE-b d7d93bd6	0,13	0,00	0,01			RIUMGM BLE-b e0969863	0,11	0,00	0,01		
1,00		0,86	0,02	0,03	1,16	0,02		1,00	0,02	0,04	1,00	0,02
3,00		2,62	0,04	0,07	1,15	0,02		2,86	0,03	0,06	1,05	0,01
10,00		8,90	0,08	0,20	1,12	0,01		9,50	0,06	0,10	1,05	0,01
100,00		83,30	0,26	0,50	1,20	0,00		89,60	0,11	0,20	1,12	0,00
1.000,00		40,00	16,89	30,00	25,00	10,56		40,00	17,25	30,00	25,00	10,78
Fons	GQElectronics GMC 500+	0,08	0,00	0,01			GQElectronics GMC 500+	0,11	0,00	0,01		
3,00	1,00	2,10	0,15	0,30	1,43	0,10	2,00	2,50	0,08	0,20	1,20	0,04
1,00		0,62	0,02	0,04	1,61	0,05		0,68	0,02	0,04	1,47	0,04
3,00		2,27	0,04	0,09	1,32	0,03		2,44	0,03	0,06	1,23	0,01
10,00		8,60	0,15	0,30	1,16	0,02		9,50	0,14	0,30	1,05	0,02
100,00		89,20	0,28	0,60	1,12	0,004		96,30	0,22	0,40	1,04	0,002
1.000,00		851,00	0,58	1,00	1,18	0,001		902,00	0,56	1,00	1,11	0,001
Fons	SAFECAST BGEIGIEZEN	5,021,00	0,08	0,00	0,01		SAFECAST BGEIGIEZEN	5,020,00	0,10	0,01	0,01	
3,00		2,70	0,03	0,07	1,11	0,01		2,89	0,03	0,05	1,04	0,01
1,00		0,92	0,03	0,05	1,09	0,03		0,94	0,01	0,02	1,06	0,01
10,00		8,74	0,03	0,06	1,14	0,004		9,69	0,04	0,09	1,03	0,00
10,00		8,50	0,05	0,10	1,18	0,01		9,70	0,06	0,10	1,03	0,01
100,00		84,20	0,10	0,20	1,19	0,001		95,80	0,15	0,30	1,04	0,002
1.000,00		709,50	0,34	0,70	1,41	0,001		845,00	0,69	1,00	1,18	0,001
Fons	GammaPix Móbil Iphone Equip1	0,00	0,00	0,06			GammaPix Móbil Iphone Equip2	0,00	0,00	0,01		
3,00		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
100,00		80,00	6,29	10,00	1,67	0,17		80,00	9,11	20,00	1,25	0,14
1.000,00		830,00	40,00	80,00	1,20	0,06		920,00	20,00	40,00	1,09	0,02
500,00		380,00	40,00	80,00	1,32	0,14		410,00	40,00	80,00	1,22	0,12
10,00		-	-	-	-	-		10,00	1,52	3,00	1,00	0,15
Fons	GammaPix Móbil Android Equip3	0,00	0,00	0,01			GammaPix Móbil Iphone Equip4	0,00	0,00	0,01		
100,00		70,00	8,13	20,00	1,43	0,17		70,00	8,33	20,00	1,43	0,17
500,00		360,00	30,00	60,00	1,39	0,12		400,00	40,00	80,00	1,25	0,13
1.000,00		1.000,00	60,00	10,00	1,00	0,06		830,00	40,00	80,00	1,20	0,06

Tabla 1. Resultados de la tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) visualizada en las pantallas/apps de los seis sensores inicialmente seleccionados para la fase 1 del estudio.

5.2 Anexo II: Guía de la entrevista

Interview Guide: Social Aspects of Participation in Radiation Measurement Projects

The main goal of the Openred project is to promote a culture of radiological protection among citizens. We have drawn inspiration from projects like Safecast and OpenRadiation to structure and guide our project objectives. For this reason, we are fostering the development of a citizen network in Spain, committed to the issue of environmental radioactivity. In order to ensure meaningful and stable participation in the network, we want to start by analyzing some social aspects of participation in similar projects.

Data Handling and Usage Information: We would like to inform you that the information provided during this interview will be used solely for the purposes of our research project. Your responses will help us understand the social aspects of participation in citizen science projects on environmental radioactivity. With your permission, we would like to record the interview to ensure the accuracy of the data collected. All recordings and transcripts will be kept confidential and will be stored securely. Only members of the research team will have access to this information. Your



participation is voluntary, and you may withdraw at any time without any consequence. If you have any questions or concerns regarding the handling of your data, please feel free to ask.

1. Recruitment Strategies:

1.1 Please describe the participant recruitment process:

- Did you identify target groups? Which ones?
- Did you seek out civil society organizations?
- Did you use any specific methodology?
- What communication channels and materials did you use?

1.2 Does the project help address social problems previously identified by the participants as relevant? How does it contribute?

1.3 What incentives did you use to attract potential participants?

- Which ones yielded the best results?
- Why do you think they worked better?

2. Engagement:

2.1 Did participation remain consistent over time? What percentage of participants have stayed active throughout the entire project (approximate if exact data is unavailable)? Do you know the reasons why some participants dropped out?

2.2 What barriers have made it difficult to maintain participant motivation throughout the project?

- Cost of devices?
- Educational level?
- Purchasing power?
- How did you overcome them?

2.3 During recruitment, how did you manage participant representativeness criteria? Were there considerations to include minority or marginalized groups? What about including different age groups?

2.4 What are the main motivations of the participants in your project? Which ones encourage more active participation?

- Have you noticed if motivations change as participants' involvement in the project progresses?
- In your experience, is the data quality better when participants join the project on their own initiative (rather than responding to an external call, like students, for example)? Do you have evidence or studies that suggest this?



2.5 During the execution of the project, what strategies have you used to maintain interest and active participation?

- How have you involved new participants?
- Which strategies do you consider have yielded the best results?

2.6 Is building a community around the topic of radiation one of the project's objectives? How have you done it? What are the main success factors associated with this community building?

3. Results and changes promoted:

3.1 What changes has the project promoted?

- Knowledge?
- Attitudes?
- Practices? (Protective behaviors)
- Values?
- Other?

3.2 What of these changes promoted were achieved? Have these changes been measured? How?

- If they haven't been measured, what would you have liked to measure?

5.3 Anexo III: Encuesta

Anexamos a continuación la versión en inglés de la encuesta:

Radiation Monitoring Participation Study

The following survey aims to gather information about your experience in participatory radiation measurement projects. Please read each statement carefully and respond accordingly. Your participation is greatly appreciated.

This survey is anonymous, meaning no personal data is collected. It is part of the OpenRed project, and you are welcome to join the Telegram channel for project updates. The goal of this survey is to understand how incentives, barriers, and other factors can encourage citizen participation in ionizing radiation measurement projects, particularly gamma radiation monitoring.

The results and analysis of this survey will be published on the project's website:



open-red.es. If you have any questions, feel free to contact us at info@ibercivis.es.

Thank you for your participation!

(1) General Information

In which project are you participating, or have you participated?

If you participated in multiple projects, please choose the one where you were most actively involved

- Safecast
- OpenRadiation
- RAMESIS
- SAIRA
- CITISTRA
- Other:

What is your country of residence?

(Dropdown Question: list of countries)

Select your age range

- Under 18 years old
- 18 - 25 years old
- 26 - 35 years old
- 36 - 50 years old
- 51 - 65 years old
- Over 66 years old

Which gender do you identify with?

- Female
- Male
- Non-binary/Other
- I prefer not to say

What is your current occupation?

- Studying



- Studying and working
- Working
- Looking for employment
- Retired
- Other:

How would you rate your knowledge of radiation before joining the project?

- None: I had no prior knowledge of radiation.
- Minimal: I had heard about radiation but didn't understand it.
- Basic: I knew some general concepts but not in detail.
- Moderate: I had a good understanding of radiation and its effects.
- Advanced: I had in-depth knowledge or professional expertise in radiation.

What is your highest level of education achieved?

- No education
- Primary education
- Secondary education
- Vocational training (non-university level)
- University studies (bachelor's or equivalent)
- Postgraduate or higher (master's, PhD, etc)

(2)Specialisation

Select your area of expertise from the list below:

- Education
- Arts and Humanities
- Social Sciences
- Law
- Commerce or Finance
- Natural Sciences
- Health Sciences
- Engineering, Industry, and Construction
- Agriculture
- Services



- o Other:

(3) Motivations for Participation

Did you join the Project in response to a radiation emergency or concrete radiation risk?

- o Yes
- o No

Do you live or work near a nuclear facility?

- o Yes
- o No
- o I don't know

Please read the following motivation factors carefully and rate, on a scale from 1 to 5, the extent to which each one influenced your decision to participate in the project. (1= not at all, 2= slightly, 3 = somewhat, 4 = much, 5 = very much):

- o Increasing my knowledge about science
- o Developing new technological skills
- o Increasing my knowledge about radiation
- o Concern for the environment
- o Concern about the risks of radiation exposure
- o Helping to share data and information about radiation levels
- o Contributing to a research project and science
- o Enjoying using innovative technologies
- o Being able to act in case of an emergency
- o Influencing decision-making related to radiation
- o Being part of a community and meeting new people
- o Other motivations

(4) Type of Participation

How long have you participated in the project?

- o Less than a month
- o Between 1 and 6 months



- Between 6 months and 1 year
- Between 1 year and 3 years
- More than 3 years

In what context have you participated in the project?

- A school or university activity
- As part of a work activity
- Voluntarily and independently
- As part of the activities of an organisation or community
- As part of a specific event or campaign
- Other:

In which activities have you participated in the project? (Select all that apply)

- Training activities
- Data collection and measurement
- Data analysis and interpretation
- Coordination activities
- Planning and management activities
- Dissemination activities
- Other:

In general, how often have you participated in these activities?

- Every day
- Several times a week
- Once a week
- Once a month
- Less than once a month
- Only participated once

Do you consider the activities accessible for your level of knowledge and skills?

- Very accessible
- Accessible
- Somewhat difficult
- Difficult



- o Very difficult

(5)Barriers to Participation

Please read the following factors carefully and rate, on a scale from 1 to 5, the extent to which each one has hindered your participation in the project.(1= has not been a barrier at all, 2 = has been a minor barrier, 3 = has been a moderate barrier, 4 = has been a significant barrier, 5 = has been a major barrier.

- o Lack of time
- o Cost of devices
- o Technical complexity
- o Lack of knowledge
- o Technological problems
- o Lack of information
- o Other barriers

How could we facilitate your participation? (Select all that apply)

- o Improve communication
- o Improve community outreach
- o Improve training
- o Reduce costs
- o Simplify activities
- o Improve support
- o Other:

(6)Changes Generated

Please indicate on a scale of 1 to 5 how much participating in the project has favoured the following changes. (1= not at all, 2 = slightly, 3 = somewhat, 4 = much, 5 = very much)

- o I have improved my scientific knowledge
- o I have improved my technological skills
- o I have increased my knowledge about radiation
- o I have contributed to possible solutions to environmental problems
- o I have improved my ability to make informed decisions about radiation



- My contributions to the project have been shared on open platforms or public media
- My contributions to the project are being used in scientific research
- I have enjoyed using new technologies
- I am part of a new community interested in radiation
- I know how to act in case of a radiation emergency
- My contributions to the project have influenced public decision-making related to radiation
- Other changes

(7) Recommendations and Improvements

Would you recommend participation in this project to others?

- Definitely yes
- Probably yes
- Not sure
- Probably no
- Definitely no

Overall, how satisfied are you with your participation in the project?

- Not satisfied at all
- Slightly satisfied
- Moderately satisfied
- Satisfied
- Very satisfied

Do you have any suggestions to improve the project? Please indicate here:

