



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1949

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Impulsando el futuro del sector forestal en Europa mediante la implantación de sistemas de realidad aumentada: perspectivas de actores clave

DE MIGUEL DIEZ, F. (1), PURFÜRST, T. (1)

(1) Professur für forstliche Verfahrenstechnik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Alemania

Resumen

La Realidad Aumentada (RA) está revolucionando diversas industrias, al integrar datos en tiempo real y basados en el contexto dentro del entorno físico. En el ámbito forestal, la RA ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia operativa, incrementar la seguridad laboral y apoyar prácticas de gestión sostenible. Esta síntesis explora el potencial de la RA en el sector forestal mediante entrevistas cualitativas realizadas a una amplia gama de actores clave, incluyendo profesionales forestales y expertos en RA de múltiples países. Las entrevistas, analizadas mediante un enfoque de análisis de contenido cualitativo, revelan aplicaciones de la RA en inventarios forestales, operaciones forestales, gestión de catástrofes naturales, logística y comunicación. Los hallazgos clave destacan la capacidad de la RA para optimizar procesos como la detección de peligros en tiempo real, la automatización de inventarios forestales y la visualización interactiva de datos. Además, se resalta su papel en la reducción de errores y la facilitación de una toma de decisiones más efectiva. El estudio identifica tecnologías avanzadas esenciales para lograr la precisión requerida en el sector forestal, como gafas inteligentes de Realidad Mixta integradas con sistemas GPS y técnica cinemática en tiempo real (RTK). Sin embargo, también reconoce barreras para su implementación, entre ellas los altos costos de adquisición, la limitada durabilidad de los dispositivos y la resistencia por parte de los trabajadores forestales debido a la incomodidad y complejidad de los dispositivos. Esta síntesis subraya la necesidad de desarrollar soluciones de RA adaptadas a los desafíos específicos de los entornos forestales, como las condiciones climáticas extremas y las operaciones sin conexión. Entre las recomendaciones destacan el diseño de aplicaciones fáciles de usar que incluyan interfaces controladas por voz, modos de visualización modulares y avatares interactivos para mejorar la usabilidad y evitar la sobrecarga de información. A pesar de las limitaciones actuales, la RA tiene un potencial significativo para transformar las operaciones forestales al optimizar flujos de trabajo, reducir el impacto ambiental y mejorar la seguridad. Este estudio ofrece recomendaciones prácticas para desarrolladores de RA, fabricantes de hardware de RA y actores del sector forestal, proporcionando una hoja de ruta para futuras innovaciones e implementaciones. Al abordar las barreras identificadas y aprovechar las capacidades de la RA, el sector forestal puede lograr avances sustanciales en eficiencia y sostenibilidad, garantizando el impacto y la adopción a largo plazo de esta tecnología.

Palabras clave

Realidad Aumentada, gestión forestal, tecnología sostenible, logística forestal, innovación, manejo de desastres.



1. Introducción

La Realidad Aumentada (AR) se ha consolidado como una tecnología transformadora en múltiples industrias, permitiendo la superposición en tiempo real de información digital sobre el mundo físico. A diferencia de la realidad virtual, que sumerge a los usuarios en entornos completamente digitales, RA enriquece los entornos reales con datos interactivos y contextuales. Durante la última década, RA ha ganado adopción en sectores como manufacturación, salud, comercio minorista y educación debido a su capacidad para proporcionar asistencia en tiempo real, simplificar tareas complejas y ofrecer soluciones manos libres. Avances tecnológicos en dispositivos como gafas de RA y smartphones han facilitado su accesibilidad, aunque su alto costo sigue siendo un desafío. No obstante, se espera un crecimiento significativo en la tecnología, impulsado por la demanda de colaboración remota e interactividad digital. En Europa, la industria de realidad virtual y realidad aumentada ha crecido rápidamente, con proyecciones que estiman un valor de mercado de 766.000 millones de euros para 2025 y una contribución de 1,3 billones de euros a la economía global para 2030 (Vigkos et al., 2022). Este crecimiento refleja avances tanto en aplicaciones empresariales como de consumo, subrayando la importancia de estas tecnologías para moldear industrias y economías futuras (Vigkos et al., 2022).

En ciencias ambientales, la RA está ganando espacio, ofreciendo nuevas formas de visualizar datos, gestionar desastres naturales y mejorar el trabajo de campo. En el sector forestal, la RA se presenta como una herramienta innovadora para abordar desafíos importantes. La gestión forestal, que tradicionalmente se ha basado en la recolección manual de datos y herramientas de planificación espacial como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ahora puede optimizarse con tecnologías RA. Inicialmente, la integración de RA en el sector forestal se centró en aplicaciones simples, como fines educativos (Mund y Müller, 2019) o apoyo a diversos actores del sector forestal (e.g., silvicultores, bomberos, operadores de maquinaria) para actividades como visualización de datos, medición de volumen apeado (Andersson, 2020), inventarios forestales (Ekenstedt, 2020) y gestión de incendios forestales (Alfárez Alfárez et al., 2013; Azpiroz et al., 2024; Bravo Chávez, 2018; Vicens et al., 2006a). Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología, sus aplicaciones se han ampliado a áreas como la medición de madera en rollo (Borz et al., 2022) y la gestión de catástrofes naturales como inundaciones (Haynes et al., 2018; Haynes y Lange, 2016; Tomkins y Lange, 2019a; Tomkins y Lange, 2019b; Vicens et al., 2006b).

2. Objetivos

La integración de la Realidad Aumentada (RA) en el sector forestal ofrece oportunidades significativas para transformar procesos tradicionales y mejorar la prevención de riesgos laborales. Este estudio tiene como propósito principal explorar el potencial de la RA en la silvicultura, analizar sus aplicaciones actuales y futuras, e identificar los requisitos necesarios para su desarrollo e implementación efectiva. A continuación, se presentan los objetivos clave de esta síntesis:

1. Explorar las capacidades de la RA en el sector forestal mediante el análisis de cómo la RA puede mejorar actividades como la visualización de datos, inventarios forestales, medición de madera y gestión de desastres.
2. Anticipar escenarios futuros de implementación y desarrollar una visión de cómo la RA puede aplicarse en el futuro, abordando las necesidades del



- sector y superando los desafíos actuales.
3. Recopilar perspectivas de expertos y usuarios e identificar necesidades y requisitos específicos de actores forestales y expertos en tecnología para alinear el desarrollo de RA con las demandas del sector.
 4. Proporcionar recomendaciones a desarrolladores y ofrecer orientaciones claras a fabricantes de hardware y software para crear herramientas adaptadas a las exigencias del entorno forestal.
 5. Identificar barreras y condiciones marco así como evaluar los factores que afectan la adopción de la RA, como los costes, la capacitación y las infraestructuras, proponiendo soluciones prácticas.
 6. Demostrar el impacto de la RA en el sector y mostrar cómo esta tecnología puede apoyar a los actores forestales en actividades críticas, destacando sus beneficios y aplicaciones prácticas.

3. Metodología

a. Obtención de datos mediante entrevistas cualitativas

En la investigación social cualitativa, existen diversos métodos disponibles. Para este estudio, se optó por entrevistas "semiestructuradas", ya que son eficaces para explorar las percepciones subjetivas de los actores implicados sobre temas relevantes (Lamnek; Mayring, 2002). Según la bibliografía consultada (Lamnek; Mayring, 2002; Witzel, 1985), las entrevistas se llevaron a cabo siguiendo una guía dividida en cuatro secciones:

1. Introducción breve: Los participantes se presentaron y describieron su rol actual, incluyendo detalles sobre sus propiedades o productos/servicios de su empresa, además de su experiencia con la RA.
2. Preguntas generales: Indagación sobre el conocimiento del entrevistado acerca de la digitalización y la RA, incluyendo datos, hardware y software utilizados.
3. Preguntas específicas: Dependiendo del entrevistado, se exploraron:
 - Procesos que podrían optimizarse con RA.
 - Condiciones marco a considerar al implementar RA.
 - Barreras, limitaciones y posibles inconvenientes en la implementación.
 - Otros actores forestales que podrían beneficiarse del uso de RA.
4. Preguntas ad-hoc y conclusión: Espacio para que los entrevistados compartieran reflexiones sobre el estudio y sugirieran áreas de investigación futura.

Las entrevistas, realizadas entre agosto y noviembre de 2024, se llevaron a cabo mediante Microsoft Teams y Zoom, con duraciones de entre 12 y 57 minutos. Participaron 47 personas en 44 sesiones clasificadas en los grupos que se muestran en la Tabla 1. En la misma también se indican las abreviaturas de cada grupo para relacionar la información indicada por los encuestados de cada grupo y mejorar la comprensión de esta síntesis en los siguientes apartados. Se obtuvo el consentimiento de los entrevistados para grabar, y se les informó sobre la protección de datos y las normativas de integridad académica de la Universidad de Friburgo (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2024). Las grabaciones se transcribieron palabra por palabra, manteniendo la fidelidad a las variaciones del idioma hablado en alemán, español e inglés.

Tabla 1. Definición de los grupos de entrevistados con sus correspondientes abreviaturas

Grupo de entrevistados	Definición	Abrev.
Propiedad estatal	Terrenos forestales propiedad y gestionados por el gobierno a nivel estatal, a menudo enfocados en la conservación, recreación y producción sostenible de madera.	PE
Propiedad municipal	Áreas forestales propiedad de entidades gubernamentales locales (municipios) para uso público, conservación y beneficio comunitario.	PM
Propiedad privada	Terrenos forestales propiedad privada, generalmente gestionados para uso personal, producción de madera o conservación.	PPF
Cooperativa de propietarios forestales	Organización colectiva de propietarios forestales que colabora en prácticas de gestión sostenible, compartición de recursos y defensa de intereses.	CPF
Empresa de gestión forestal	Firma privada especializada en la gestión de recursos forestales, ofreciendo servicios como cosecha de madera, planificación territorial y consultoría en sostenibilidad.	EGF
Empresa de consultoría forestal	Compañía que brinda asesoramiento experto en gestión y conservación de recursos forestales. Incluye peritos forestales o consultores forestales certificados.	ECF
Empresa de transporte de madera	Negocio centrado en el transporte de madera cosechada desde los bosques hasta las instalaciones de procesamiento.	ETM
Empresa de la industria maderera	Negocio especializado en el procesamiento, producción y distribución de madera y productos derivados para uso comercial.	EIM
Bomberos y fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado	Cuerpos gubernamentales responsables de hacer cumplir leyes relacionadas con el uso, protección y seguridad pública en áreas forestales.	BFFCCS
Autoridades y organizaciones de conservación de la naturaleza	Organizaciones dedicadas a proteger hábitats naturales, incluyendo bosques, promoviendo la biodiversidad y los esfuerzos de conservación, así como evaluando que los bosques se gestionen según estándares de sostenibilidad.	AOCN
Oficinas federales y regionales para la conservación del patrimonio arqueológico	Organizaciones responsables de preservar sitios arqueológicos y garantizar el cumplimiento de las leyes de patrimonio.	CPA
Aseguradoras de salud y servicios de prevención de riesgos laborales	Instituciones responsables de proporcionar protección social, incluyendo seguros de salud, cobertura por accidentes y beneficios de jubilación, además de promover estándares de seguridad laboral y prevenir riesgos ocupacionales en industrias específicas.	SPRL
Comunidad académica y científica	Académicos e investigadores afiliados a universidades e instituciones, centrados en la creación de conocimiento e investigación científica en diversos campos. También incluye expertos internacionales con experiencia en RA.	CAC
Centro de formación forestal	Institución que ofrece educación y formación práctica en habilidades de gestión y conservación forestal.	CFF
Empresas de software de RA	Empresas que desarrollan aplicaciones de software utilizando tecnología de RA, aplicables a diversas industrias y sectores, incluido el sector forestal, para visualización y planificación.	ESRA
Empresas de hardware de RA	Compañías que diseñan y fabrican hardware para sistemas de RA, como	EHRA

Grupo de entrevistados	Definición	Abrev.
	gafas y dispositivos utilizados en aplicaciones diversas, incluida la gestión forestal y ambiental.	

b. Selección de los entrevistados

Para obtener una amplia variedad de perspectivas y experiencia, se seleccionó un grupo diverso de actores forestales alemanes, representantes de instituciones académicas y empresas especializadas en software y hardware de RA. Este grupo incluyó expertos internacionales de Alemania, Austria, España, Finlandia, Indonesia, Noruega, Suecia y Suiza. La identificación de los participantes se realizó mediante redes propias, la Acción COST CA23135 Bringing Digital Data and Reality Together - Augmented Reality in Forestry (ARiF) y una investigación exhaustiva en internet. Posteriormente, los candidatos fueron contactados por teléfono o correo electrónico con una carta de solicitud de entrevista, presentándoles el proyecto en el que se enmarcaba esta investigación (“ForestAR”) y su marco de estudio. Se solicitó confirmación de su disposición para participar.

c. Evaluación de las entrevistas

Las entrevistas se evaluaron mediante un análisis cualitativo de contenido basado en el enfoque de Mayring (2022). Se utilizó el método de estructuración de contenido, que permite una evaluación sistemática según criterios específicos y facilita la interpretación de las respuestas. La evaluación siguió los pasos metodológicos establecidos por Mayring y se realizó con el software MAXQDA 2022 (Verbi GmbH, Berlín, Alemania). Los resultados presentados en la sección siguiente provienen del análisis global de los datos cualitativos.

4. Resultados

4.1. Integración de la realidad aumentada en la silvicultura: casos de uso y mejoras en seguridad

La implementación de la RA en el sector forestal ofrece importantes beneficios en diversas aplicaciones, mejorando la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad ambiental. Se identificaron 8 áreas clave de aplicación con un total de 52 casos de uso en los que la RA puede ser incorporada. A continuación, se describen los principales casos de uso en cada área identificada.

Planificación y gestión de inventarios

La tecnología de proyección de RA proporciona un soporte significativo para la planificación y gestión forestal mediante diversas aplicaciones. Al eliminar la dependencia de materiales analógicos y permitir la proyección simultánea de información necesaria bajo el control del usuario, la RA mejora la eficiencia en la planificación de la gestión forestal. Esto es particularmente útil en terrenos pequeños y dispersos o en parcelas agroforestales con numerosos límites sin marcadores visibles [PPF, CAC]. La RA puede proyectar tanto mojones como lindes de parcelas o rodales forestales [ECF] y designar áreas forestales según atributos como tipo de propiedad, uso del suelo, presencia de contaminación, plagas o enfermedades forestales, sitios arqueológicos y hábitats protegidos [CPA, PE, PM]. Además, proyecta nubes de puntos derivadas de LiDAR para indicar el volumen de madera disponible y el ya extraído de medidas anteriores [EGF, CFF]. Esta



tecnología permite visualizar cómo se verá el paisaje tras implementar medidas específicas, ayudando a determinar si deben ejecutarse o modificarse [CAC, PPF]. Para navegación, los usuarios pueden visualizar caminos forestales y su estado, optimizando la logística de madera y aumentando la seguridad [PE, PM, PPF, ECF, EGF, ETM]. También permite proyectar el desarrollo futuro de rodales forestales según especies y prácticas de gestión, fomentando el consenso entre propietarios, planificadores y empresas [CFF]. Las proyecciones interactivas de RA muestran normativas, leyes o programas de financiamiento, ayudando en la toma de decisiones, particularmente en áreas gravemente afectadas por plagas, como el escarabajo de corteza, donde se planean reforestaciones [CAC, ECF]. Asimismo, fomenta la participación ciudadana, especialmente entre jóvenes, para aumentar la conciencia sobre operaciones forestales sostenibles [CAC, ECF]. Los dispositivos de RA como gafas inteligentes de realidad mixta permiten además recopilar información digital detallada en campo, reemplazando prácticas tradicionales como anotaciones manuales, puntos georreferenciados o fotografías [ECF, PPF]. Optimiza tareas de inventario forestal al proyectar límites y centros de parcelas de muestra, aumentando la eficiencia [ESRA, ECF]. También puede validar datos satelitales o LiDAR en tiempo real y marcar digitalmente árboles procesados, mejorando el seguimiento y la planificación [EGF, CAC].

Operaciones silvícolas, apeo, desembosque y reforestación

La RA mejora la seguridad, eficiencia y precisión en operaciones forestales. Proyecta directrices para tratamientos silvícolas, mostrando técnicas de plantación y tala para personal no capacitado, o ubicaciones específicas de plantación según especies [PPF, EIM, CAC]. Durante operaciones de raleo, muestra instrucciones de trabajo, ubicaciones de caminos de arrastre y árboles marcados para tala, incluso con visibilidad obstruida por arbustos densos [PE, EGF, PM, PPF, ECF]. En operaciones de cosecha, proyecta tablas de selección de herramientas según carga y peso, líneas verticales para evaluar inclinación de árboles y métodos óptimos de corte [EGF, CFF]. Además, la RA permite trabajar en múltiples ubicaciones simultáneamente y supervisar el progreso [ECF, PE] así como proporciona mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción de madera y reduce riesgos laborales al optimizar procesos y reemplazar marcas tóxicas de pintura por marcadores digitales [CFF].

Operaciones logísticas

La RA apoya la logística forestal al proyectar ubicaciones exactas de troncos tras su preparación, agilizando su desembosque y extracción [EIM]. También proyecta documentos necesarios en campo, como listas de madera, contratos y planes de gestión, reduciendo el uso de papel físico [EGF]. Por último, la RA mejora la navegación, eficiencia logística y sostenibilidad ambiental al optimizar consumo de combustible y reducir emisiones de CO₂ [CAC].

Mantenimiento y fabricación de maquinaria

La RA proporciona procedimientos detallados para el mantenimiento y reparación de maquinaria forestal, mejorando la eficiencia económica y operativa [EIM, CFF, EGF, PPF]. En la fabricación de maquinaria, garantiza altos estándares de calidad y reduce la necesidad de capacitación especializada [CAC].

Monitoreo y conservación

La RA permite verificar actividades planificadas, como plantaciones forestales, supervisar el desarrollo de rodales y marcar grupos de árboles hábitat para



proteger la biodiversidad [PM, ECF]. Mejora la gestión forestal al rastrear actividades en tiempo real, optimizando recursos y reduciendo trabajo manual.

Desarrollo de infraestructura rural y forestal

La RA optimiza procesos de reparación de caminos forestales al destacar materiales y maquinaria necesarios en el tramo respectivo [ESRA, CAC, EGF]. Proyecta información para proyectos de construcción de infraestructuras como presas y escaleras para peces en áreas forestales, facilitando ajustes in situ [CAC].

Gestión y prevención de desastres naturales

En la lucha contra incendios, la RA proyecta ubicaciones de equipos, rutas de escape e información meteorológica relevante en tiempo real, mejorando la coordinación y seguridad [ECF, CAC, BFFCCS]. También proyecta modelos de vegetación y simula la propagación de incendios en base a datos climáticos actuales, optimizando estrategias de supresión [CAC, BFFCCS].

Formación

La RA apoya la formación en el sector mediante simulaciones de escenarios y visualización de operaciones forestales [CAC, EIM]. Beneficia a estudiantes y profesionales al minimizar curvas de aprendizaje y mostrar el impacto de medidas silvícolas implementadas [ECF].

Monitoreo en tiempo real

La tecnología de proyección de RA permite a los responsables de equipo monitorear las posiciones en tiempo real tanto del personal como de la maquinaria forestal, lo que mejora la capacidad para rastrear el progreso del trabajo en el campo y responder rápidamente a accidentes [CFF, PPF]. Además, esta tecnología facilita la conexión entre trabajadores forestales al mostrar sus ubicaciones respectivas dentro del bosque y resaltando peligros u ocupaciones riesgosas presentes [PE, SPRL]. Asimismo, la RA puede proyectar puntos de rescate designados dentro de las áreas forestales, apoyando la planificación de respuestas de emergencia [EGF, FMO].

Identificación de peligros principales

La RA proporciona a los trabajadores forestales información esencial sobre seguridad al visualizar peligros principales y madera muerta dentro de un rodal antes de comenzar las labores [PE, CFF, EGF, PM]. También destaca áreas peligrosas resultantes de particularidades del terreno, como pequeños barrancos y pendientes empinadas, permitiendo una navegación con mayor precaución [CFF]. Adicionalmente, las proyecciones de RA pueden identificar áreas forestales afectadas por plagas o enfermedades que representen riesgos para la salud de los trabajadores [CFF].

Seguridad en operaciones de apeo y logística

La RA mejora considerablemente la seguridad y precisión en operaciones forestales. Por ejemplo, puede proyectar la dirección de caída y la zona designada para un árbol (considerando diferentes especies), con una función de alerta si alguien entra en esta área durante operaciones de apeo con maquinaria [CFF, EGF, SPRL]. Además, puede mostrar la distancia de seguridad obligatoria, incluso al usar cuñas de tala controladas a distancia [SPRL]. La proyección de técnicas específicas de corte para motosierras, como el manejo de madera dañada por tormentas,



ayuda a visualizar zonas de tensión (compresión y tracción) y puntos esenciales del árbol a apeaar, junto con guías para mantener la motosierra perpendicular al árbol durante la tala [CFF, SPRL]. También puede mostrar el diámetro del tocón, el corte de entrada y las dimensiones del biselado, apoyando prácticas de corte seguras. Para conductores de camiones o maquinaria pesada, la RA mejora la seguridad al proyectar puntos de interés, detalles de infraestructura (como curvas de caminos), velocidades recomendadas, condiciones de caminos forestales y alertas de vehículos u obstáculos cercanos, facilitando maniobras seguras en áreas boscosas [CAC]. En capacitación, las guías de RA sobre profundidad de corte óptima ayudan a evitar errores, como cortar a través del biselado, y activan advertencias si la barra guía se inserta demasiado profundamente [CFF]. También puede mostrar la dirección y velocidad del viento, con notificaciones automáticas para detener trabajos cuando las velocidades del viento superan el umbral indicado en cada país, garantizando condiciones de tala seguras [SPRL]. Para la extracción de madera con cabrestantes, la RA puede proyectar la línea de cabrestante y la distancia de seguridad necesaria, emitiendo una alerta si la línea está mal posicionada. Proyecciones en tiempo real de la fuerza de tracción ejercida por el cabrestante ayudan a los operadores a monitorear la carga del cable y los factores de seguridad relacionados [SPRL]. Además, la RA puede alertar al personal forestal cuando hay maquinaria pesada cerca, mejorando la conciencia situacional y reduciendo el riesgo de accidentes. Este sistema de alertas puede implementarse equipando la maquinaria pesada con dispositivos GPS y geocercas [ESRA, CFF].

Seguridad vial y formación preventiva

En el contexto de la seguridad vial, la RA puede indicar en los árboles afectados las medidas específicas necesarias para restaurar la seguridad en caminos forestales, facilitando la implementación rápida y precisa de acciones necesarias [CFF, FMO, PPF]. Asimismo, la capacitación basada en RA puede ser fundamental para la prevención de accidentes, proporcionando a los trabajadores forestales conocimientos y habilidades necesarias para mejorar la seguridad y reducir riesgos en futuras operaciones [CAC].

4.2. Datos, hardware y software utilizados para la integración de RA en el sector forestal

Las experiencias previas y las preferencias indicadas por los entrevistados reflejaron que los datos más valorados son textos, cifras, datos lidar, datos CAD, datos de simulación [CAC, PE, PPF, EGF, ECF, ETM], tablas de uso común como la tabla Calmbacher (una herramienta forestal utilizada en Alemania para determinar la tensión y potencia necesarias en el uso de cabrestantes para tala o extracción de árboles. Proporciona pautas basadas en el diámetro y la altura de los árboles, permitiendo una operación segura y eficiente de la maquinaria) [CFF], geodatos (GIS), es decir, puntos georreferenciados, marcadores de límites, figuras geométricas para la visualización de caminos forestales o navegación en bosques, distancias relevantes (por ejemplo, la distancia al siguiente camino forestal), diámetros de los árboles a la altura del pecho (DBH) y alturas de los árboles [EGF, PPF, EIM, ETM, ECF, BFFCCS]. Dado que no existe un marco estandarizado para la realidad aumentada (RA), garantizar la compatibilidad entre datos, software y hardware es crucial para que desarrolladores y usuarios puedan crear y utilizar esta tecnología de manera eficiente [CAC, ECF]. En primer lugar, los desarrolladores de software de RA buscan cumplir con los requisitos de compatibilidad de uso. En el caso de los formatos 3D, el formato GLTF es el más



utilizado debido a su estado de optimización. Por lo tanto, los desarrolladores transforman otros formatos, como OBJ o FBX, a GLTF. Otro formato importante a considerar es USD (Universal Scene Description).

Aunque el uso de tablets y smartphones para visualizar datos en RA está ampliamente difundido, un amplio espectro de gafas inteligentes, como las de Realidad Mixta (MR), también puede considerarse y algunas están siendo probadas actualmente, como Magic Leap 2, Microsoft HoloLens 2, Apple Vision Pro, Meta Quest 3 y Varjo XR-4 [ESRA, EHRA, CAC]. Los resultados de estas pruebas han revelado limitaciones en varios dispositivos, algunas de las cuales son insalvables de cara a su consideración en la implantación de esta tecnología en el sector forestal [ESRA, PE]. Limitaciones importantes, como la necesidad de estar constantemente conectados a un portátil mediante un cable de longitud determinada, dificultan su uso en varias aplicaciones forestales mencionadas, como es el caso del Varjo XR-4 [EHRA]. No obstante, este dispositivo sería altamente adecuado en términos de protección de datos, ya que su diseño operativo garantiza la privacidad de los datos [EHRA]. En los casos donde el uso de gafas inteligentes ha resultado efectivo, estos dispositivos son reemplazados por smartphones o tabletas, que ofrecen un medio más asequible e incluso más eficiente para proyectar los datos necesarios en realidad aumentada [CAC, PE], así como dispositivos económicos como cámaras (por ejemplo, GoPro, DJI) para proyectar información en RA a través de videos [ECF]. Por el contrario, se ha destacado el potencial futuro de otros dispositivos, como las Meta Quest 3, que podrían preferirse debido a su compatibilidad con Web-VR y su accesibilidad económica [ESRA]. Sin embargo, las Meta Quest 3, clasificadas como gafas inteligentes de tipo "passthrough", no se consideran adecuadas para su uso en silvicultura por posibles riesgos de seguridad laboral [PE, EHRA]. Estos riesgos surgen del hecho de que los usuarios visualizan su entorno a través de una pantalla asistida por cámara en lugar de directamente, como ocurre con dispositivos como las Microsoft HoloLens 2, que son dispositivos transparentes [PE]. Por ello, se consideran prometedoras las próximas gafas de RA, como Orion, fabricadas por Meta [CAC]. El uso de gafas inteligentes está estrechamente relacionado con los datos que se proyectarán y el software utilizado. Por ejemplo, algunas aplicaciones pueden desarrollarse para ser utilizadas con las Microsoft HoloLens 2 mediante el software propio de Microsoft. Otras aplicaciones pueden desarrollarse para su uso en la web, con software específico y gafas inteligentes determinadas, como Magic Leap 2 o Varjo XR-4 [ESRA, EHRA]. Algunas empresas ya han desarrollado soluciones que integran gafas inteligentes de MR con cascos utilizados en áreas de trabajo y cinemática en tiempo real (RTK), es decir, un receptor GPS con capacidad RTK que puede procesar señales estándar de Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) junto con un flujo de corrección, logrando una precisión posicional para mejorar la exactitud de los geodatos proyectados [ESRA]. El uso de algunas gafas inteligentes de MR permite a los usuarios capturar datos que también pueden proyectarse posteriormente, como modelos 3D derivados de fotogrametría o nubes de puntos basadas en datos lidar. Para estos propósitos, debe garantizarse la alta calidad de la tecnología integrada [EHRA, CAC]. En general, varios entrevistados describieron a dos actores importantes en el desarrollo de soluciones de RA: Unity y Unreal Engine [CAC]. En cuanto al desarrollo de software, los desarrolladores se esfuerzan por garantizar que su trabajo cumpla con los requisitos de las respectivas plataformas y software propietario, como WebXR, ARKit y ARCore [CAC, ESRA]. Los kits de desarrollo de



software (SDK) más comunes, que proporcionan a los desarrolladores las herramientas y bibliotecas necesarias para crear aplicaciones de RA, son ARCore (de Google), ARKit (de Apple), Vuforia y Unity AR Foundation. Otra herramienta utilizada para crear modelos 3D es Speedtree [CAC, ESRA]. Una herramienta adicional ampliamente utilizada para desarrollar la visualización en RA es WebXR, que es un estándar web o Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) [CAC, ESRA]. La diferencia entre WebXR y los SDK mencionados, como ARCore, radica en que WebXR es una API para crear experiencias inmersivas basadas en la web, mientras que ARCore es un SDK más tradicional para desarrollar aplicaciones nativas de RA en dispositivos Android. Las ventajas clave de usar WebXR incluyen su acceso directo a través de navegadores web, que elimina la necesidad de descargar aplicaciones, y su compatibilidad multiplataforma, que permite que un desarrollo funcione en múltiples dispositivos (smartphones, computadoras de escritorio, cascos de AR/VR). WebXR también simplifica la implementación al permitir actualizaciones en línea sin intervención del usuario, reduciendo tanto los costos de desarrollo como la necesidad de múltiples versiones en diferentes plataformas. Además, su naturaleza abierta y compatible a través de URLs mejora la accesibilidad, y como estándar abierto, fomenta la interoperabilidad y flexibilidad, evitando la dependencia de plataformas propietarias. Actualmente, están en desarrollo avances prometedores en aplicaciones de RA utilizando WebXR, incluidos el seguimiento espacial y el "Gaussian splatting". Estos avances implican escanear entornos y marcar puntos de interés georreferenciados. De este modo, los entornos escaneados se transforman en "espacios inteligentes" aplicables tanto en interiores como en exteriores [ESRA, CAC].

4.3. Condiciones generales y requisitos clave para implementar AR en diferentes tipos de propiedades forestales

Según los entrevistados, varios factores son fundamentales en el proceso de toma de decisiones para la adopción de tecnología de realidad aumentada (RA): 1) la capacidad financiera, 2) la afinidad por esta tecnología, 3) el nivel de profesionalización de los trabajadores, 4) el tamaño de la propiedad en el caso de los propietarios forestales, 5) la edad de los trabajadores, 6) los objetivos de la gestión forestal o los roles funcionales de los diferentes tipos de bosque, y 7) la aceptación de esta tecnología. Estos factores pueden variar según el tipo de actor involucrado, especialmente en el caso de los propietarios forestales. En propiedades privadas de grandes superficies o de titularidad pública (estatales o municipales), es más probable que el personal tenga un mayor grado de profesionalización y que la propiedad cuente con mayores recursos financieros para adoptar esta tecnología. La afinidad para usar herramientas digitales suele depender de la persona que las utiliza, siendo la edad un factor significativo: los trabajadores más jóvenes tienden a mostrar una mayor adaptabilidad a las herramientas digitales y, en consecuencia, a los sistemas de RA. En el caso de propiedades forestales más pequeñas, es más probable que el propietario reciba asesoramiento de organismos de administración pública o asociaciones forestales de gestión o cooperativas de propietarios forestales [PPF, ECF, EGF]. Estos actores pueden utilizar esta tecnología para asesorar al propietario o gestionar directamente el bosque. En entidades privadas, como la industria, empresas forestales o grandes propiedades forestales, los objetivos de la gestión forestal pueden influir en la adopción de esta tecnología, a veces restando importancia al factor financiero, ya que el potencial de optimización es ampliamente reconocido. En los bosques públicos, por ejemplo, donde la protección de la naturaleza y la



preservación de la biodiversidad juegan un papel crítico, los sistemas de RA que contribuyan a estos objetivos pueden aumentar significativamente la probabilidad de una implementación exitosa. La aceptación es un factor determinante para la adopción y uso de estos sistemas. En primer lugar, debe demostrarse que la tecnología es fiable y lo suficientemente precisa. En segundo lugar, debe ofrecer a los actores el valor añadido esperado y la información específica que necesitan en el lugar para garantizar una implementación exitosa [PE, PPF]. Los encuestados destacaron que las condiciones esenciales para la adopción de esta tecnología incluyen facilidad de uso, tamaño compacto, ligereza, suficiente robustez para soportar las exigencias del trabajo forestal y condiciones climáticas extremas (por ejemplo, temperaturas muy bajas o altas, niebla, humedad, polvo), así como precisión adecuada para cada aplicación específica. Además, el diseño debe minimizar cualquier riesgo de accidentes laborales [PE, PPF, EGF, CAC]. También se debe disponer de una versión sin conexión de las aplicaciones para facilitar su uso en áreas forestales con conectividad limitada [SPRL]. Algunos entrevistados especificaron diferentes niveles de precisión requeridos según la aplicación. Por ejemplo: 1) 10 cm para la visualización de límites forestales, 2) 50 cm para mostrar la ubicación de pilas de madera (especialmente cuando hay varias pilas muy juntas y/o el etiquetado no es claramente visible, como en el caso de colores oscuros o pintura deteriorada por el clima), y 3) un máximo de 1 metro para la visualización de árboles individuales [PPF, EGF]. Además, el mantenimiento de los dispositivos y hardware no debería ser excesivamente exigente en términos de tiempo. Actualmente, las gafas inteligentes requieren principalmente actualizaciones regulares, que pueden gestionarse automáticamente a través de la tienda de aplicaciones asociada, y una limpieza rutinaria [ESRA, PPF, EGF]. Las soluciones efectivas también deben abordar los desafíos y barreras descritos en las siguientes secciones. Las gafas inteligentes de RA deben integrarse en el equipo de protección personal (EPP) sin conexión por cables, utilizando tecnologías inalámbricas como Bluetooth, y estar específicamente integradas en cascos de seguridad con protección auditiva y gafas o una visera frente a las gafas inteligentes para proteger contra riesgos como piedras y ramas durante las operaciones forestales. Para mejorar la precisión y exactitud de las proyecciones, también se deben incluir componentes adicionales, como tecnología de cinemática en tiempo real (RTK) [ESRA, EGF, PPF, PE, EHRA]. Otros factores a considerar incluyen la actualidad de los datos y la opción de seleccionar qué datos se mostrarán, preferiblemente mediante selección por voz [PE, PM, PPF, BFFCCS]. La actualidad de los datos es especialmente importante para diversos actores al planificar inventarios forestales, indicar puntos peligrosos debido a madera muerta, medidas silvícolas, compraventa de madera, almacenamiento temporal de madera en el bosque, entre otros, e incluso para información en tiempo real necesaria en la lucha contra incendios forestales [EGF, ECF, PE, PPF, BFFCCS]. Asimismo, la capacidad de seleccionar datos para su visualización debe habilitarse para simplificar el uso y evitar distracciones por información innecesaria o mareos [PE, EGF, BFFCCS, CAC].

4.4. Retos y barreras para la implementación de AR en la silvicultura

La adopción de AR enfrenta barreras técnicas, financieras, organizativas, legales y humanas:

- Técnicas: Dispositivos frágiles, limitaciones en resistencia al agua y polvo, batería y visión de campo reducida, y necesidad de conectividad estable en zonas forestales (CAC, SPRL).
- Financieras: Altos costos de adquisición y licencias para dispositivos y



- software (PE, CFF).
- Organizativas: Bajo nivel de digitalización interna de los agentes socioeconómicos del sector forestal y restricciones de accesibilidad impuestas por empresas, que podrían mitigarse con regulaciones como el *Digital Markets Act* en Europa (CAC, ESRA).
- Legales: Normativas de protección de datos y seguridad laboral específicas del sector forestal (ESRA).
- Humanas: Necesidad de formación adecuada y superación de resistencias a nuevas tecnologías, incluyendo incomodidad en el uso prolongado de gafas inteligentes y riesgos de distracción por exceso de información proyectada (CAC, EGF).

5. Discusión

La tecnología de Realidad Aumentada (AR) ha demostrado un gran potencial en el sector forestal, con aplicaciones ya implementadas en inventarios forestales y operaciones de cosecha (Alfárez Alfárez et al., 2013; Arboreal AB, 2022; Borz et al., 2022; Bravo Chávez, 2018; Ekenstedt, 2020). Sin embargo, estos avances iniciales apenas reflejan las capacidades completas de la AR y las necesidades del sector, según lo indicado por los actores forestales entrevistados. La RA puede optimizar procesos, agilizar operaciones y mejorar significativamente la seguridad laboral. Esto representa una oportunidad clave para desarrolladores de software y fabricantes de dispositivos, quienes pueden adaptar la tecnología a las especificidades del sector forestal.

La implementación exitosa de la RA requiere demostrar claramente sus beneficios e incentivar a los actores forestales a adaptar sus procesos tradicionales, avanzando en la digitalización para disponer de los datos necesarios para las proyecciones RA (CAC). Grandes propietarios o entidades públicas deben liderar la adopción mediante proyectos piloto, demostrando la funcionalidad del sistema y facilitando su aceptación. Esto, a su vez, puede incentivar a otros actores a adoptar la tecnología, ampliando su uso a funciones adicionales como la gestión de incendios forestales (PE, PPF, ECF). Además, debe evaluarse si la inversión en esta tecnología es rentable, especialmente para pequeñas propiedades forestales, donde los costes económicos son determinantes (PE, CFF).

Uno de los principales desafíos es la falta de conocimiento entre los actores forestales sobre las capacidades actuales de la AR. Los trabajadores forestales y las empresas de gestión desconocen cómo esta tecnología puede beneficiar sus operaciones diarias. Incrementar la exposición y transferencia de conocimiento sobre la AR es crucial para superar esta barrera, fomentando la digitalización del sector (FPO, ESRA). También es necesario evaluar cuidadosamente la disponibilidad de datos necesarios para las proyecciones, así como garantizar la privacidad de la información sensible de las empresas y cumplir con normativas nacionales que restringen la transferencia de datos fuera de fronteras (FPO, ESRA).

A pesar de su potencial, la RA enfrenta limitaciones técnicas, como precisión insuficiente, dependencia de la conectividad a internet en áreas forestales, y restricciones ambientales como condiciones de luz adversas y clima extremo. Además, los dispositivos actuales presentan problemas ergonómicos: su peso excesivo, sobrecalentamiento y necesidad de baterías múltiples dificultan el uso durante jornadas laborales (ESRA, CAC). La poca afinidad de los trabajadores



forestales al uso de gafas de RA debido a su incomodidad y los altos costes iniciales de adquisición, capacitación y mantenimiento representan barreras adicionales. Una solución viable sería optar por dispositivos más ligeros y económicos, como tablets o smartphones, mientras se desarrollan nuevas gafas de RA específicas para el sector (PE, EHRA).

La RA tiene un gran potencial para optimizar los procesos forestales. Por ejemplo, puede facilitar la localización precisa de pilas de madera, evitando errores durante el transporte, e identificar árboles para talar en áreas con regeneración densa, lo que ayudaría a compensar los costes iniciales (EGF, ETM). En términos de seguridad laboral, la RA puede proyectar información clave en tiempo real, como zonas de seguridad durante la tala, direcciones de caída de árboles y ubicación de peligros como madera muerta. Esto reduce significativamente los riesgos de accidentes. Sin embargo, la sobrecarga de información proyectada puede causar distracción y mareo, una barrera que puede abordarse diseñando modos de visualización ajustables según las necesidades del usuario (Azpiroz et al., 2024). Otra recomendación fue el desarrollo de aplicaciones interactivas con avatares que asistan a los actores forestales en la toma de decisiones (PPF).

Las gafas inteligentes de realidad mixta integradas con sensores, cámaras y sistemas lidar pueden habilitar aplicaciones avanzadas, destacando la realización de operaciones manteniendo las dos manos libres y la postura ergonómica, especialmente beneficiosas para trabajadores mayores o propietarios forestales, quienes podrían evitar lesiones graves al tener las manos liberadas (PPF, SPRL). Estas aplicaciones permiten acceder a datos sin interrumpir tareas, optimizando procesos y eliminando retrasos asociados con métodos tradicionales (CFF).

Entre las aplicaciones más prometedoras se encuentran:

- Inventarios forestales automatizados (EGF)
- Cartografía y clasificación de biotopos (PE)
- Medición y clasificación de madera en pie y apilada (EGF, CFF, PE)
- Asistencia en maquinaria forestal remota (CFF, EGF)
- Identificación de especies protegidas para su conservación (CPF, PE)
- Evaluación del impacto del pastoreo en la regeneración natural (PE, PPF)
- Comunicación multilingüe entre equipos, facilitando videollamadas y consultas en tiempo real (PE, PPF, EGF)
- Documentación de medidas para garantizar la seguridad laboral (EGF)

Para que la RA sea adoptada ampliamente, las soluciones deben ser accesibles, robustas y adaptadas a las condiciones extremas de los entornos forestales. Las aplicaciones deben ser fáciles de usar, con funciones como selección de datos por comando de voz y modos de visualización ajustables para evitar sobrecarga de información. Además, la funcionalidad offline es esencial en áreas sin conectividad (FPO, EGF). El hardware debe ser resistente, liviano y compatible con los equipos de protección personal, como cascos con gafas AR integradas (EHRA, PE). Actualmente, existe una brecha en el mercado de gafas de RA diseñadas específicamente para el sector forestal, ya que dispositivos como Magic Leap 2 y HoloLens 2 han dejado de producirse. Durante este periodo, tablets y smartphones podrían ser una solución temporal hasta que nuevas gafas MR específicas estén disponibles (PE, EHRA).

Finalmente, los entrevistados destacaron que la optimización de los procesos forestales y la mejora en la seguridad laboral justifican la inversión en la tecnología. La AR puede transformar la gestión forestal, fomentando la



sostenibilidad y la seguridad en el sector. Sin embargo, se requiere más investigación y desarrollo para abordar las limitaciones actuales y garantizar una integración efectiva y duradera.

6. Conclusiones

Esta síntesis destaca el potencial transformador de la RA en el sector forestal, al mejorar la eficiencia operativa, la seguridad laboral y proporcionar herramientas para una gestión forestal sostenible. Basado en entrevistas semiestructuradas con actores del sector forestal, expertos en tecnología RA y participantes internacionales, se recopilieron perspectivas sobre aplicaciones prácticas, desafíos y expectativas de la RA en el sector forestal. El análisis de las entrevistas identificó 52 casos de uso en 8 áreas clave, además de 21 aplicaciones para mejorar la seguridad laboral. Entre las principales aplicaciones destacan: inventarios forestales, visualización de límites, navegación, operaciones silvícolas, logística de la madera y gestión de desastres naturales. En cuanto a la seguridad laboral, sobresalen la monitorización en tiempo real del personal, detección de peligros como madera muerta, visualización de direcciones de tala y proyección de zonas de seguridad en la extracción de madera con cabrestantes.

El estudio resalta el valor añadido de combinar visualización RA con sensores y cámaras en gafas inteligentes MR, mejorando la eficiencia en diversos procesos forestales y aumentando la seguridad en operaciones. Sin embargo, se requiere más investigación y desarrollo para probar e implementar los casos de uso identificados. Los beneficios esperados incluyen una mayor precisión en la planificación forestal, operaciones más seguras mediante detección de peligros y mejora en la comunicación entre actores mediante interfaces AR interactivas y multilingües. El hardware avanzado, como gafas inteligentes integradas con GPS y sistemas RTK, es esencial para alcanzar la precisión requerida en operaciones forestales. No obstante, los entrevistados señalaron barreras como los altos costos de adquisición, limitaciones técnicas (fragilidad, peso) y la resistencia al uso entre los trabajadores forestales. También se subrayó la necesidad de soluciones AR adaptadas a los entornos forestales, que incluyan funcionalidad offline, aplicaciones fáciles de usar y modos de visualización ajustables para evitar sobrecarga de información y mareos.

Aunque existen obstáculos, como la falta de gafas RA adecuadas, los beneficios potenciales en eficiencia, reducción de errores y mejora de la seguridad laboral justifican la inversión continua en esta tecnología. Se recomienda desarrollar dispositivos más ligeros, robustos y económicos para garantizar su accesibilidad a una amplia gama de actores del sector forestal. Este estudio ofrece información valiosa para desarrolladores de AR, fabricantes de hardware y actores del sector forestal, guiando la integración futura de la tecnología. Abordar las barreras identificadas y aprovechar las capacidades de RA permitirá avances significativos en la gestión sostenible de bosques y la seguridad laboral, asegurando el impacto y la integración a largo plazo de esta tecnología en el sector forestal.

7. Agradecimientos

Esta síntesis incluye resultados del estudio que se llevó a cabo en el marco del proyecto "ForestAR", que fue financiado a través de Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (Alemania) por el Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura (BMEL) (Número de referencia de financiación: 2223NRO30X). Agradecemos a los participantes de las entrevistas, así como a las instituciones que financiaron y apoyaron este estudio. Su colaboración fue fundamental para el



éxito de esta investigación.

8. Bibliografía

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG 2024. Ordnung der albert-ludwigs-universität zur sicherung der redlichkeit in der wissenschaft: (Regulaciones de la universidad de Friburgo para garantizar la integridad académica). Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. <https://uni-freiburg.de/forschung/qualitaetsicherung/gute-wissenschaftliche-praxis/redlichkeit-in-der-wissenschaft/>.

ALFÉREZ ALFÉREZ, C.; BENITO ROBERTI, I.; FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J.V.; CARRILLO PATIÑO, A.; 2013. Soluciones avanzadas para la gestión en el combate de incendios forestales. 6º Congreso Forestal Español. Vitoria-Gasteiz, Spain, 10–14 June 2013.

ANDERSSON, I.; 2020. Project treeprint: komatsu forestry information system. <http://www.isabelandersson.com/interface-of-forestry-machines>.

ARBOREAL AB; 2018. Arboreal - tree. Arboreal AB.

ARBOREAL AB; 2022. Arboreal forest. Arboreal AB.

AZPIROZ, I.; OLAIZOLA, I.G.; OREGUI, X.; GARCÍA, A.F.; RUIZ, V.; LARRAGA-GARCÍA, B.; GUTIÉRREZ, Á.; 2024. White paper on adaptive situational awareness enhancing augmented reality interface design on first responders in rescue tasks. Applied Sciences 14, 8282. <https://doi.org/10.3390/app14188282>.

BALINDT, G.; 2020. Stockfibel to go. Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (German).

BORZ, S.A.; MOROCHO TOAZA, J.M.; FORKUO, G.O.; MARCU, M.V.; 2022. Potential of measure app in estimating log biometrics: a comparison with conventional log measurement. Forests 13, 1028. <https://doi.org/10.3390/f13071028>.

BRAVO CHÁVEZ, J.E.; 2018. Uso de realidad aumentada para mejorar la percepción situacional en sistemas de mando y control para gestión de emergencias. Master thesis. Valencia, Spain. 49 pp.

EKENSTEDT, J.; 2020. Arboreal app. <https://www.arboreal.se/en/arboreal-forest/>.

HAYNES, P.; HEHL-LANGE, S.; LANGE, E.; 2018. Mobile augmented reality for flood visualisation. Environmental Modelling & Software 109, 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.012>.

HAYNES, P.; LANGE, E.; 2016. Mobile augmented reality for flood visualisation in urban riverside landscapes. Journal of Digital Landscape Architecture, 254–262. <https://doi.org/10.14627/537612029>.

LAMNEK, S.; 2020. Qualitative sozialforschung. Band 2: Methoden und Techniken. 3rd ed. Beltz. Munich, Germany.

MAYRING, P.; 2002. Einführung in die qualitative sozialforschung. Beltz. Weinheim, Germany.

MAYRING, P.; 2022. Qualitative inhaltsanalyse: grundlagen und techniken. 13th ed. Beltz. Weinheim, Germany and Basel, Switzerland.

MUND, J.-P.; MÜLLER, S.; 2019. Augmented reality and mobile gis as tools for teaching data-collection in the context of forest inventories. giform 1, 129–143. https://doi.org/10.1553/giscience2019_02_s129.

NIŢĂ, M.D.; BORZ, S.A.; 2023. Accuracy of a smartphone-based freeware solution



and two shape reconstruction algorithms in log volume measurements. *Computers and Electronics in Agriculture* 205, 107653. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107653>.

TOMKINS, A.; LANGE, E.; 2019a. Augmented reality in flood risk communication. *Landscape Architecture* 26, 93–100. <https://doi.org/10.14085/j.fjyl.2019.09.0093.08>.

TOMKINS, A.; LANGE, E.; 2019b. Interactive landscape design and flood visualisation in augmented reality. *MTI* 3, 43. <https://doi.org/10.3390/mti3020043>.

VICENS, F.; LINARES, J.; SANCHO, S.; 2006a. Augmented reality assistance in forest fire fighting. *Ibero-American Symposium on Computer Graphics - SIACG (2006)*. Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, pp. 203–208.

VICENS, F.; LINARES, J.; SANCHO, S.; 2006b. Augmented reality assistance in forest fire fighting. *Ibero-American Symposium on Computer Graphics - SIACG (2006)*. Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, pp. 203–208.

VIGKOS, A.; BEVACQUA, D.; TURTURRO, L.; KUEHL, S.; FOX, T.; DIESTRE, P.; STIG YDING, S.; 2022. The virtual and augmented reality industrial coalition: strategic paper. European Commission: Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. <https://data.europa.eu/doi/10.2759/197536>.

WITZEL, A.; 1985. Das problemzentrierte interview. in: jüttermann, g. (ed.), *qualitative forschung in der psychologie: grundfragen, verfahrensweisen, anwendungsfelder*. Beltz. Weinheim, Germany, pp. 227–255.